

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Racionalizace výroby elektromotorů
s využitím 3D tisku**

Rationalization of Production of Electric Motors
Made by 3D Printing

Student:

Bc. Vladimír Žváček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vladimír Žváček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace výroby elektromotorů s využitím 3D tisku**
Rationalization of Production of Electric Motors Made by 3D Printing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Současný stav.
3. Návrh nového technologického postupu výroby.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOZIOR T.; KUNDER C. *Evaluation of the Influence of Parameters of FDM Technology on the Selected Mechanical Properties of Models*, In Procedia Engineering, Volume 192, 2017, Pages 463-468.
GIBSON, Ian a David W. ROSEN. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, c2010, 459 p. ISBN 978-1-4419-1119-3.
Kozlov, Nikita. *Technologie 3D tisku v procesní technice*. Bakalářská práce. Praha 2017. ČVUT. Vedoucí bakalářské práce: Jiří Moravec.
Marketing research. *The State of 3D Printing*. Sculpteo. Edition 2017. dostupné on-line <www.sculpteo.com>.
Internetové zdroje www.3d-tisk.cz, www.3dhubs.com, www.thingiverse.com, www.sculpteo.com aj.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Pagáč, Ph.D.**

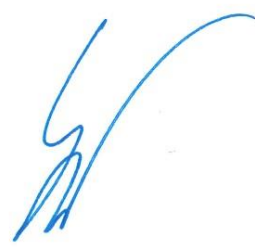
Konzultant diplomové práce: Ing. Michal Průša

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti Siemens s.r.o. odštěpný závod Elektromotory Mohelnice.

V Ostravě dne 20. května 2019.



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB – TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Vladimír Žváček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na Výsluní 4, 789 01 Zábřeh

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZVACEK, V: Racionalizace výroby elektromotorů s využitím 3D tisku: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 67 s. Vedoucí práce: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá racionalizací výroby elektromotorů s využitím 3D tisku, kdy využitím aditivní technologie tvarově optimalizujeme pasivní části elektromotoru, konkrétně svorkovnicové skříně a následně vyrobíme funkční prototypy komponentů elektromotoru, které bude následně možné smontovat do sestavy, vyzkoušet a následně aplikovat při zavedení nové technologie v hromadné výrobě. V úvodních kapitolách práce jsou popsány základní informace o podniku Siemens, s.r.o. a obecná charakteristika problematiky aditivní technologie výroby a tvorby aditivního procesu, seznámení s metodami 3D tisku, popis současného technologického a konstrukčního stavu elektromotoru a jejich grafický rozbor, sloužící pro návrh ekonomicky výhodnějších variant představených v experimentální části práce.

Experimentální část byla provedena tvarovým optimalizováním konstrukce dílce svorkovnicové skříně v různých variantách prototypů ve firmě Protolab, technologií 3D tisku Powder Bed Fusion – SLS s budoucí možnou aplikací optimalizovaných dílců v hromadné výrobě při otestování funkčnosti v provozu použitím jiného, levnějšího materiálu (ABS) a zavedením technologie vstřikovacích násobných forem při zachování současné normy krytí IP.

V závěru bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení celé diplomové práce na téma racionalizace výroby elektromotorů s využitím aditivní technologie při výrobě funkčních prototypů.

Klíčová slova: aditivní technologie, racionalizace výroby, funkční prototypy, Siemens

ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

ZVACEK, V. Rationalization of Production of Electric Motors Made by 3D Printing: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly and Engineering Metrology, 2019, 67 p. Thesis head: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

The diploma thesis deals with rationalization of production of electric motors with the use of 3D printing, when using the additive technology we optimize the passive parts of the electric motor, namely the terminal box and subsequently we produce functional prototypes of electric motor components, which can be subsequently assembled into the assembly, tested and then applied in the introduction of new technology in mass production. The introductory chapters describe the basic information about Siemens, s.r.o. and general characteristics of additive production and additive process, introduction to 3D printing methods, description of current technological and constructional state of electric motor and their graphical analysis, serving for design of economically advantageous variants presented in experimental part of the thesis.

The experimental part was carried out by optimizing the design of the terminal box component in various prototype variants at Protolab, Powder Bed Fusion 3D technology - SLS with future possible application of optimized components in mass production when testing in-service functionality using other, cheaper material (ABS) and introduction multiple injection molding technology while maintaining the current IP protection standard.

In conclusion, a technical-economic evaluation of the entire thesis on rationalization of electric motor production using additive technology in the production of functional prototypes was performed.

Keywords: additive technology, rationalization of production, functional prototypes, Siemens

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě provedli danou problematikou a poskytli mi odborné vedení. Především bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Marku Pagáčovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Michalovi Průšovi z firmy Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice a neméně kolegům Ing. Miroslavovi Konečnému a Františku Navrátilovi ze Siemens, s.r.o., Praha.

Diplomová byla vypracována v rámci projektu: „Moderní a produktivní obrábění a metrologie“, reg.č. „SP2019/60“ Specifického výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	10
ÚVOD.....	11
1.1. Charakteristika Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory.....	12
1.2 Sortiment výrobků	12
2. TECHNOLOGIE ADITIVNÍ VÝROBY	16
2.1 Aditivní výrobní proces	17
2.1.1 CAD	18
2.1.2 STL konverze a manipulace se soubory	18
2.1.3 Tisk	18
2.1.4 Odstranění výtisků	19
2.1.5 Post processing	19
2.2 Přehled aditivních technologií výroby.....	20
2.2.1 Fotopolymerace	20
2.2.2 Powder Bed Fusion.....	21
2.2.3 Material Extrusion	24
2.2.4 Material Jetting.....	25
2.2.5 Binder Jetting.....	27
2.2.6 Přímé ukládání energie.....	27
3. SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE VÝROBY	29
3.1 Současný materiál komponentů pro výrobu elektromotorů.....	29
3.1.1 Hliník a jeho vlastnosti	29
3.2 Současný stav technologie výroby pro AH 63	30
3.2.1 Kostra elektromotoru	30
3.2.2 Štít NDE strana.....	31
3.2.3 Štít DE strana.....	32
3.2.4 Kryt stříšky	33
3.2.5 Stříška krytu	34
4. NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY	35
4.1 Technologie 3D tisku experimentu-Powder Bed Fusion – Selective Laser Sintering ..	36
4.2 EOS P 396 – 3D tiskárna určená pro experiment.....	38
4.3 Materiál použitý pro experiment na EOS P 396	40
4.4 Kompletace prototypů elektromotoru pro AH 63	43
4.4.1 Verze prototypu 1	46
4.4.2 Verze prototypu 2	47
4.4.3 Verze prototypu 3	48
4.4.4 Verze prototypu 4	49

4.5 Stupně ochrany krytem ČSN EN 62 529 – zkoušky prototypů	50
5 TECHNICKÉ-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	52
5.1 Verze prototypu 1	52
5.2 Verze prototypu 2	53
5.3 Verze prototypu 3	54
5.4 Verze prototypu 4	55
5.5 Stanovení a výpočet úspor	56
5.5.1 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 1	56
5.5.2 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 2	57
5.5.3 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 3	58
5.5.4 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 4	59
6 ZÁVĚR	61
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	64
9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	67

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotka
ABS	- amorfnní termoplastický kopolymer (plast).....	[-]
AH	- označení osové výšky	[mm]
BJ	- 3D technologie výroby tryskání pojivem (Binder Jetting)	[-]
CAD	- (Computer Aided Drawing)	[-]
CAM	- (Computer Aided Manufacturing).....	[-]
CNC	- (Computer Numerical Control)	[-]
CDLP	- 3D technologie výroby přímým kontinuálním zpracováním světla	[-]
CLIP	- 3D technologie výroby (Continuous Liquid Interface Production).....	[-]
DED	- 3D technologie výroby přímým ukládáním energie.....	[-]
DLP	- 3D technologie výroby přímým zpracováním světla.....	[-]
DOD	- 3D technologie výroby (Drop-on-Demand).....	[-]
DMLS	- 3D technologie výroby přímým metalickým laserovým sintrováním	[-]
EBAM	- 3D technologie výroby elektronovým paprskem	[-]
EBM	- 3D technologie výroby tavením elektronovým paprskem	[-]
FDM	- 3D technologie výroby nanášením roztaveného termoplastu	[-]
FFF	- 3D technologie výroby nanášením roztaveného kompozitu	[-]
IP	- stupeň krytí.....	[-]
MJF	- 3D technologie výroby (Multi Jet Fusion).....	[-]
NPJ	- 3D technologie výroby tryskáním Nano částicemi	[-]
NC	- (Numerical Control)	[-]
PBF	- 3D technologie výroby (Powder Bed Fusion).....	[-]
LENS	- 3D technologie výroby laserem čistě tvarované sítě	[-]
SLA	- 3D technologie výroby stereolitografií.....	[-]
SLM	- 3D technologie výroby selektivním laserovým tavením	[-]
STL	- soubor určený pro technologii tisku stereolitografií.....	[-]
SLS	- 3D technologie výroby selektivním laserovým sintrováním	[-]
UV	- ultrafialové záření	[nm]

ÚVOD

Tato diplomová práce je zpracována jako externí téma pro praktické využití společnosti Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice, probíhající na útvaru infrastruktury IS.

Hlavním cílem této práce je technicko–ekonomické zefektivnění dané technologie výroby, konkrétně výroby svorkovnicové skříně, kompatibilní pro elektromotory osově výšky AH63, AH71, AH80 a AH90, kdy v rámci rostoucího počtu zákaznických provedení roste náročnost výroby a financí s ní spojených a aditivní technologie skýtá řešení v podobě výroby prototypů pasivních částí elektromotoru bez časové náročnosti a předcházení výroby cenově nákladných forem před samotným uvedením do hromadné výroby.

Důležitým cílem této diplomové práce byla i možnost ověření funkčnosti prototypů vyrobených na 3D tiskárně EOS P 396 ve firmě Protolab po strážce krytí IP a jejich následné aplikaci jako pasivních částí elektromotoru z nových materiálů do výroby využitím násobných vstřikovacích forem na plasty při ušetření spojovacího materiálu a montážních časů.

V úvodní části práce je zmíněna historie koncernu Siemens AG, konkrétně pobočky Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory v Mohelnici s výrobním portfoliem závodu a popisem hlavních prvků elektromotoru.

Následuje úvod do problematiky technologie aditivní výroby, samotné tvorby aditivního procesu a seznámení s konkrétními současnými druhy výroby 3D tisku.

Další část práce obsahuje rozbor původní technologie výroby pasivních částí, současný materiál a následuje vlastní návrh 4 funkčních prototypů svorkovnicové skříně, jejich samotný popis s grafickým znázorněním, dále popis materiálu prototypů a technologie SLS Powder Bed Fusion – Selective Laser Sintering, popis zařízení 3D tiskárny EOS P 396 určené k vytvoření finálních prototypů v experimentální části práce.

V následující části nalezneme detailní rozbor zkompletovaných sestav s jednotlivými prototypy, popis jejich přínosu, vypočítání úspor a principu mechanismu jednotlivých variant.

V konečné části jsou zaznamenány a vyhodnoceny výsledky úspor jednotlivých prototypů z experimentální části práce, následující technicko-ekonomickým zhodnocením celé racionalizace výroby elektromotorů s využitím 3D tisku.

1.1. Charakteristika Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory

Firma Siemens AG vznikla více jak před 150 lety a v současnosti patří mezi světovou špičku mezi elektrotechnickými koncerny na světě. Firma zaměstnává ve svých 16 divizích přibližně 440 tisíc zaměstnanců v bezmála 200 zemích. Siemens se soustředí na 7 hlavních oblastí výroby: energetika, průmysl, komunikace, informatika, zdravotnictví, doprava a světlo. Kromě toho firma vyrábí také elektrické spotřebiče pro domácnosti, tzv. bílou techniku. Siemens věnuje každý rok 10 % ze svého ročního obrátu na investice, vývoj, výzkum a vzdělání.¹

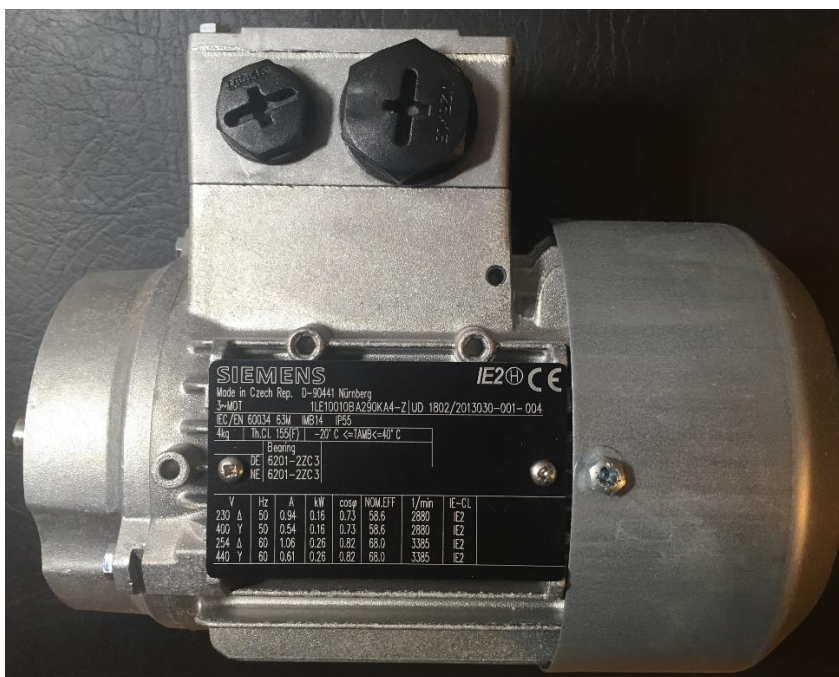


Obrázek 1.1 - Pohled na Siemens Mohelnice¹

Zastoupení firmy Siemens AG bylo znovu obnoveno v České republice v roce 1990. V současnosti se skládá skupina firem SIEMENS v ČR z 23 společností. Do jedné z hlavních oblastí výroby je zahrnuta i výroba asynchronních motorů ve firmě Siemens Elektromotory s.r.o., která vznikla 1. října 1994 spojením podniků MEZ Mohelnice, Frenštát pod Radhoštěm a Drásov.¹

1.2 Sortiment výrobků

Firma Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice se zabývá výrobou nízkonapěťových asynchronních elektromotorů. Patří mezi nejvýznamnější závod v Evropě, každý den podnik vyrobí téměř 4 tisíce elektromotorů, které jsou určeny k pohonu především průmyslových zařízení, jako jsou například ventilátory, čerpadla, kompresory či obráběcí stroje.¹



Obrázek 1.2 - Asynchronní elektromotor Siemens 1LE

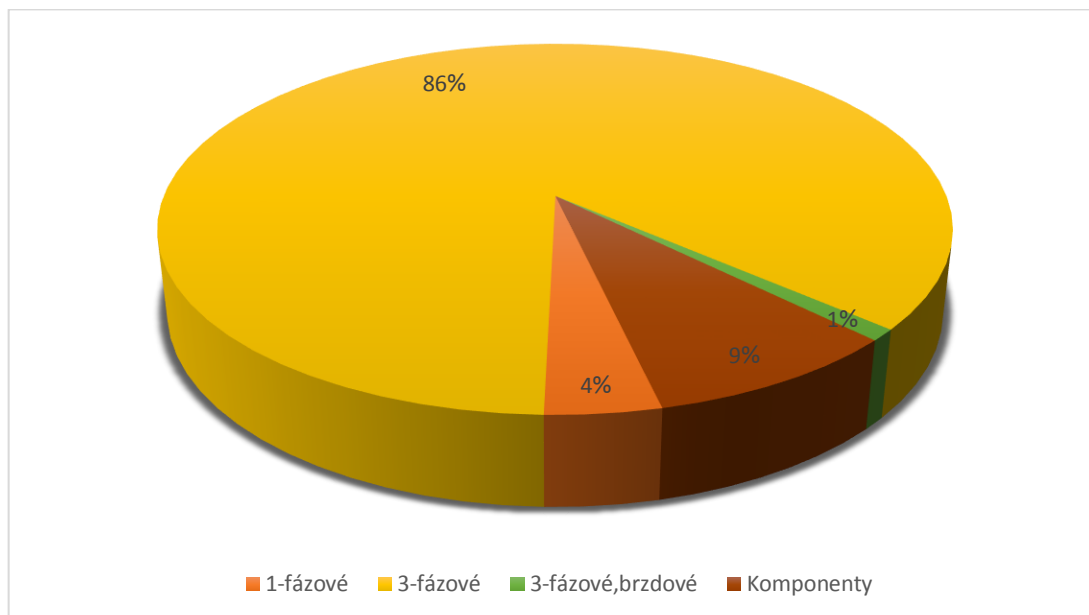
Odštěpný závod Elektromotory Mohelnice vyrábí nízkonapětové asynchronní elektromotory:

- trojfázové o výkonech od 60 W do 30 kW,
- jednofázové o výkonech od 120 W do 3 kW.

Tabulka 1 - Přehled produktů od závodu Elektromotory Mohelnice ¹

Základní popis motoru	Osová výška (mm)	Výkon od-do (kW)
1. Trojfázové nízkonapětové asynchronní motory nakrátko	Text	Text
1.1 S hliníkovou kostrou-1LA7	56 - 160	0,06 - 18,5
1.2 S hliníkovou kostrou s vysokou účinností-1LA9	56 - 160	0,06 - 18,5
1.3 S hliníkovou kostrou s vysokou účinností - 1LE1	160	4,0 - 22,0
1.4 S hliníkovou kostrou v zajištěném provedení-1MA7	63 - 160	0,12 - 16,0
1.5 S hliníkovou kostrou bez ventilátoru-1PP7	56 - 160	0,09 - 18,5
1.6. S litinovou kostrou - 1LG4	180 - 200	11,0 - 30,0
1.7 S litinovou kostrou s vysokou účinností - 1LG6	180 - 200	11,0 - 30,0
1.8 S litinovou kostrou s vysokou účinností bez ventilátoru-1PP6	180 - 200	11,0 - 30,0

1.9 S litinovou kostrou bez ventilátoru - 1PP4	180 - 200	11,0 - 30,0
1.10 S litinovou kostrou pro vestavbu - 1PK4	180 - 200	11,0 - 30,0
1.11 S litinovou kostrou pro vestavbu - 1PK6	180 - 200	11,0 - 30,0
2 Jednofázové nízkonapěťové asynchronní motory nakrátko - 1LF7	56 - 100	0,12 - 3,0



Obrázek 1.3 - Graf zastoupení jednotlivých výrobků na celkové produkci ¹

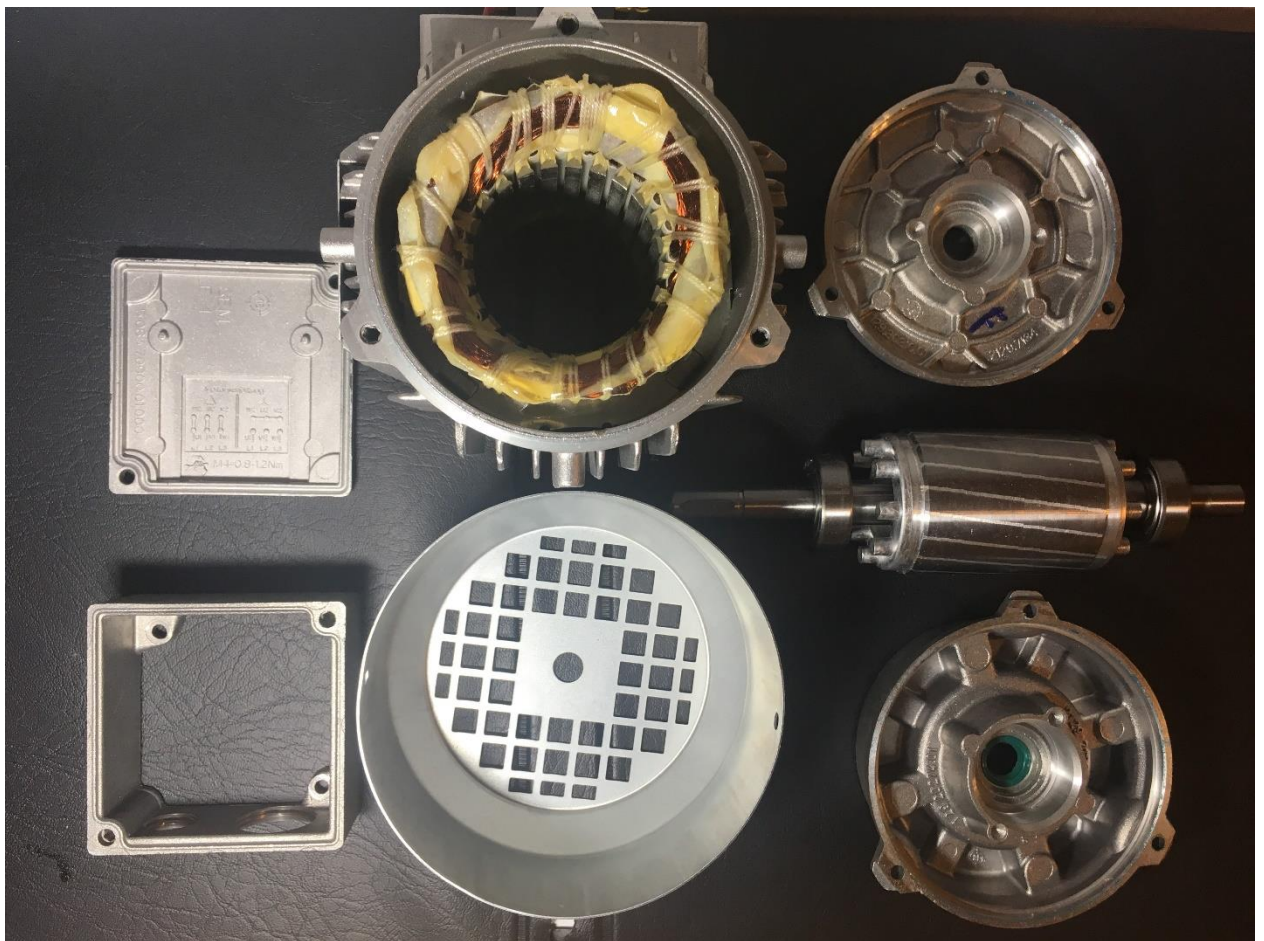
V závodě Siemens s. r. o. Mohelnice se vyrábějí elektromotory osových výšek (AH) **63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200**. Osová výška elektromotoru se definuje, vzdáleností od patky po osu hřídele. (Osová výška elektromotoru se definuje položením elektromotoru na rovnou podložku, kde se změří vzdálenost od patky po osu hřídele.)

Hlavní prvky asynchronního elektromotoru:

- Kostra elektromotoru
- Stator s vinutím (nalisováno do kostry)
- Rotor + hřídel + ložiska
- Zadní strana a přední strana ložiskového štítu
- Ventilátor + kryt ventilátoru
- Svorkovnicová skříň (Víko + kryt)

Důležitou součástí elektromotorů jsou patky, které slouží k připevnění elektromotoru k podložce. U osových výšek 56-90 jsou patky součástí konstrukce kostry, zatímco u AH100-200 jsou patky, které se následně ke kostře montují.

U většiny, která tvoří cca 95 % všech vyráběných motorů, tvoří kostru odlitek z hliníku. U zbývajících 5% motorů, převážně z velké řady, tvoří kostru odlitek ze šedé litiny s označením 42 2420.¹



Obrázek 1.4 - Hlavní prvky asynchronního elektromotoru

2. TECHNOLOGIE ADITIVNÍ VÝROBY

Aditivní výroba patří mezi současné trendy ve výrobě při prototypování dílů, jedná se o způsob výroby, kde jsou vrstvy materiálu postupně vrstveny pro vytvoření pevného objektu, zahrnují např. spékání, slinování prášků různého chemického složení, zrnitosti, chemických, fyzikálních a jiných užitečných vlastností.

I když existuje mnoho různých technologií 3D tisku, tato kapitola se zaměří na obecný proces od návrhu až po závěrečnou část. Ať už je poslední část rychlým prototypem nebo finální funkční částí, obecný proces se nemění.

Pomocí aditivní technologie lze vytvářet vnitřní i vnější tvary součástí, prototypů jakékoliv obtížnosti, co má v konečném důsledku přinést: ^{2,4}

- Zkrácení doby kompletace
- Úsporu výrobních nákladů
- Zvýšení spolehlivosti
- Přímou výrobu tvarově komplexních dílců – zhotovení součásti najednou ⁴

Zdůvodnění tvorby prototypů:

- Ověření vhodnosti pro sériovou výrobu
- Posouzení vzhledu – zjištění zájmu zákazníků
- Ověření vyrobitelnosti, smontovatelnosti
- Nalezení chyb v koncepci (chyby realizačního týmu)
- Nalezení chyb ve výrobní dokumentaci (chyby konstruktéra) ⁴

Obecný princip technologie 3D tisku:

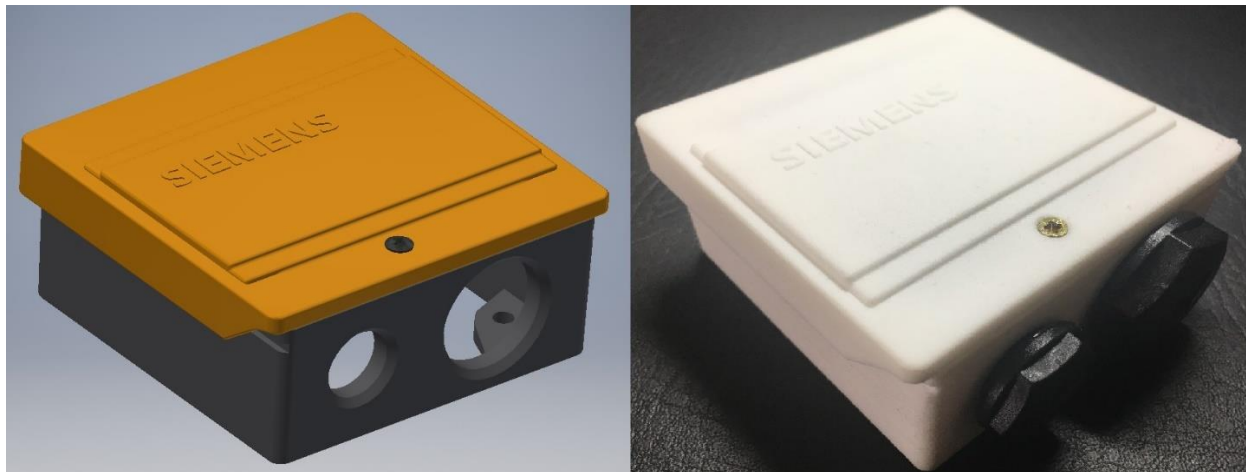
- Tvar vyrobené součásti
- Tvary jednotlivých vrstev vypočítaných softwarem
- Proces tvorby součásti, schéma

Způsoby tvorby prototypů:

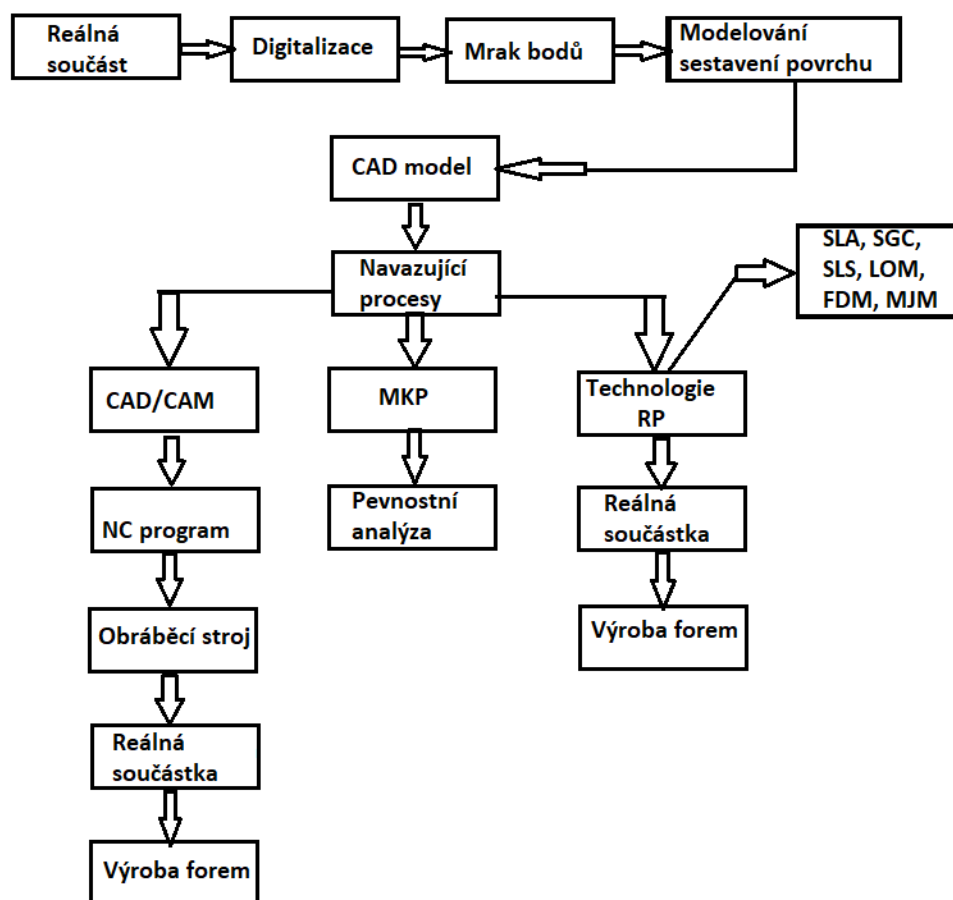
- Tradiční – aditivní a kompresivní, substraktivní
- Moderní – 3D tisk ⁴

2.1 Aditivní výrobní proces

Z počátečního návrhu z CAD souboru až po hotovou součást z 3D tiskárny je výroba aditivní technologií řízena obecnou řadou kroků.



Obrázek 2.1– Přejít CAD souboru v hotový 3D výrobek



Obrázek 2.2– Vývoj a proces vzniku reálné součásti⁴

2.1.1 CAD

Vytvoření digitálního modelu je prvním krokem v procesu výroby 3D tiskem. Nejběžnějším způsobem výroby digitálního modelu je počítačově podporovaný design (CAD).

Existuje celá řada bezplatných a profesionálních CAD programů, které jsou kompatibilní s aditivní technologií výroby, kdy reverzní inženýrství lze také použít pro generování digitálního modelu pomocí 3D skenování.

Při navrhování pro aditivní výrobu je třeba zvážit několik aspektů návrhu. Tyto jsou obecně zaměřeny na omezení geometrie prvků a požadavky na podporu nebo únikové otvory a jsou rozlišeny podle technologie.²

2.1.2 STL konverze a manipulace se soubory

Kritickým krokem v procesu výroby aditivní technologií, která se liší od tradiční výrobní metodiky, je požadavek převést CAD model do souboru STL (stereolithography).

STL používá trojúhelníky (polygony) k popisu povrchů objektu. Před převedením modelu na soubor STL, včetně fyzické velikosti, vodotěsnosti a počtu polygonů, je třeba zvážit několik omezení daného modelu.

Jakmile je soubor STL vygenerován, je soubor importován do programu pro krájení. Tento program vezme soubor STL a převede jej na G-kód. G-kód je programovací jazyk numerického řízení (NC). Používá se v počítačově řízené výrobě (CAM) pro řízení automatizovaných obráběcích strojů (včetně CNC strojů a 3D tiskáren). Program krájení také umožňuje konstruktérovi přizpůsobit parametry sestavení včetně podpory, výšky vrstvy a orientace součástí.²

2.1.3 Tisk

3D tiskárny často obsahují mnoho malých a složitých částí, kde správná údržba a kalibrace jsou důležitými aspekty pro výrobu přesných výtisků. V této fázi jsou také do tiskárny vloženy materiály určené pro tisk. Suroviny používané při výrobě aditivní technologií mají často omezenou trvanlivost a vyžadují pečlivé zacházení. Zatímco některé procesy nabízejí možnost recyklace přebytečného materiálu, opakované použití může mít za následek snížení vlastností materiálu, pokud není pravidelně nahrazováno.²

Většina strojů na výrobu 3D tiskem nemusí být po zahájení tisku monitorována. Stroj bude následovat automatizovaný proces a problémy vzniknou obvykle pouze v případě, že stroji dojde materiál nebo dojde k chybě v softwaru.

2.1.4 Odstranění výtisků

Pro některé aditivní výrobní technologie je odstranění tisku stejně jednoduché jako oddělení tiskové části od platformy.

Pro jiné průmyslovější metody 3D tisku je odstranění tisku vysoce technickým procesem, který zahrnuje přesnou extrakci tisku, zatímco je stále ještě zapouzdřený ve stavebním materiálu nebo je připevněn k montážní desce.

Tyto metody vyžadují složité postupy odstraňování a vysoce kvalifikované operátory strojů spolu s bezpečnostním vybavením a řízeným prostředím.²

2.1.5 Post processing

Postupy po zpracování se opět liší podle technologie tiskárny. SLA vyžaduje, aby se součástka vytvrzovala pod UV světlem před samotnou manipulací, kovové části musí být často odlehčeny v peci, zatímco s FDM částmi lze manipulovat ihned.

Pro technologie, které využívají podporu, bývají odstraněny i ve fázi následného zpracování.

Většina materiálů pro 3D tisk je schopna být broušena a bývají zde provedeny další techniky dodatečného zpracování včetně omílání, vysokotlakého čištění vzduchu, leštění a barvení pro přípravu tisku pro konečné použití.²

2.2 Přehled aditivních technologií výroby

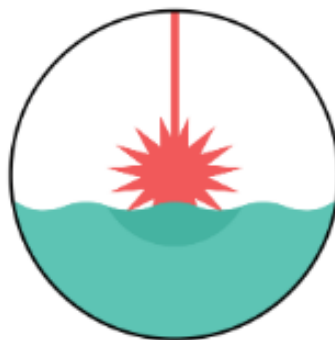
2.2.1 Fotopolymerace

K fotopolymeraci dochází, když je fotopolymerová pryskyřice vystavena světlu o specifické vlnové délce a prochází chemickou reakcí, aby se stala pevnou. Řada aditivních technologií využívá tento jev k tomu, aby vytvořila pevnou část po jedné vrstvě.²

Technologie:

- **Stereolitografie (SLA)**

SLA používá konstrukční platformu ponořenou do průsvitné nádrže naplněné kapalnou fotopolymerovou pryskyřicí. Jakmile je plošina ponořena, jeden bodový laser umístěný uvnitř stroje mapuje průřezovou plochu (vrstvu) konstrukce přes dno nádrže zpevňující materiál. Poté, co byla vrstva zmapována a zpevněna laserem, plošina se zvedne a nechá pod částkou proudit novou vrstvu pryskyřice. Tento proces se opakuje po vrstvách za vzniku pevné části. Díly jsou obvykle následně vytvrzeny UV světlem pro zlepšení jejich mechanických vlastností.²

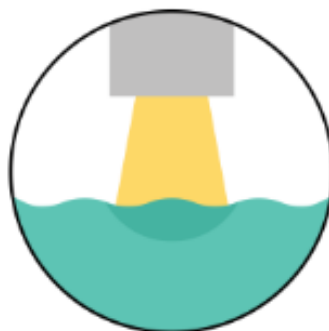


Obrázek 2.2.1 A– Grafické zobrazení principu technologie SLA²

- **Přímé zpracování světla (DLP)**

DLP následuje téměř identickou metodu výroby dílů ve srovnání se SLA. Hlavní rozdíl je v tom, že DLP používá projektor s digitálním světelným projektorem k okamžitému záblesku jednoho obrazu z každé vrstvy. Projektor je zde digitální obrazovkou, kdy obraz každé vrstvy je tvořen čtvercovými pixely, což má za následek vytvoření vrstvy z malých obdélníkových cihel zvaných voxely. DLP může dosáhnout rychlejších časů tisku ve srovnání s SLA pro

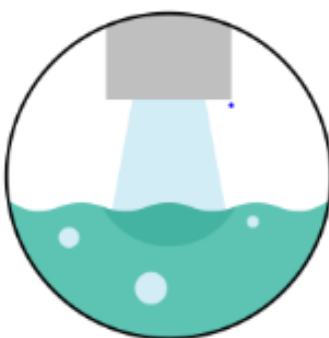
některé části, protože každá celá vrstva je vystavena najednou, místo aby sledovala průřezovou plochu laserem. ²



Obrázek 2.2.1 B– Grafické zobrazení principu technologie DLP ²

- **Kontinuální DLP (CDLP)**

Nepřetržité přímé zpracování světla (CDLP) (také známé jako Continuous Liquid Interface Production nebo CLIP) produkuje díly přesně stejným způsobem jako DLP. Opírá se však o nepřetržitý pohyb desky ve směru Z (nahoru). To umožňuje rychlejší dobu výstavby, protože tiskárna není povinná po každé vrstvě zastavit a oddělit část od desky. ²



Obrázek 2.2.1 C– Grafické zobrazení principu technologie DLP (CDLP) ²

2.2.2 Powder Bed Fusion

Technologie výroby práškových lůžkových fúzí (PBF) produkuje tuhous část s použitím tepelného zdroje, který indukujefúzi slinováním nebo tavením mezi částicemi plastu nebo kovového prášku po jedné vrstvě.

Většina technologií PBF používá mechanismy pro rozprostření a vyhlazení tenkých vrstev prášku, když je součást zkonstruována, což má za následek, že konečná složka je zapouzdřena v prášku po dokončení zabudování.

Hlavní změny v technologiích PBF pocházejí z různých zdrojů energie (například lasery nebo elektronové paprsky) a prášků používaných v procesu (plasty nebo kovy).²

Technologie:

- **Selektivní laserové sintrování (SLS)**

SLS vyrábí pevné plastové díly s použitím laseru pro sintrování tenkých vrstev práškového materiálu najednou. Proces začíná rozprostřením počáteční vrstvy prášku přes platformu vybudování. Průřez dílu je skenován a slinován laserem, což ho zpevňuje. Konstrukční platforma pak klesne o jednu tloušťku vrstvy a nanese se nová vrstva prášku. Proces se opakuje, dokud se nevytvoří pevná součást. Výsledkem tohoto procesu je složka zcela zapouzdřená v neslinovaném prášku. Díl se vyjme z prášku, vyčistí a poté je připraven k použití nebo k dalšímu zpracování.²

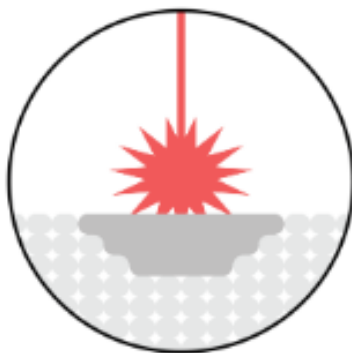


Obrázek 2.2.2 A– Grafické zobrazení principu technologie SLS²

- **Selektivní laserové tavení (SLM) i přímé metalické laserové sintrování (DMLS)
SLM & DMLS**

Selektivní laserové tavení (SLM) i přímé metalické laserové sintrování (DMLS) produkuje díly prostřednictvím podobné metody jako SLS. Hlavní rozdíl je v tom, že SLM a DMLS se používají při výrobě kovových dílů. SLM dosahuje plného tání prášku, zatímco DMLS zahřívá prášek na téměř teploty tání, dokud se chemicky nerozpouští. DMLS pracuje pouze se slitinami (slitiny niklu, Ti64 atd.). Zatímco SLM může používat jednosložkové kovy, například hliník. Na rozdíl od SLS, SLM a DMLS vyžaduje podpurné struktury pro

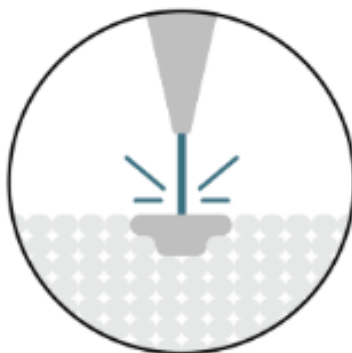
kompenzaci vysokých zbytkových napětí vznikajících během procesu sestavování. To pomáhá omezit pravděpodobnost deformace a zkreslení. DMLS je nejrozšířenější kovový AM proces s největší instalovanou základnou.²



Obrázek 2.2.2 B– Grafické zobrazení principu technologie SLM, DMLS²

- **Tavení elektronovým paprskem (EBM)**

EBM používá paprsek s vysokou energií častěji než s laserem k indukci fúze mezi částicemi kovového prášku. Soustředěný elektronový paprsek skenuje přes tenkou vrstvu prášku, což způsobuje lokalizované tavení a tuhnutí na specifické ploše průřezu. Systémy s elektronovým svazkem produkují menší zbytková napětí v částech, což vede k menšímu zkreslení a menší potřebě kotev a nosných konstrukcí. EBM navíc spotřebovává méně energie a může vyrábět vrstvy rychleji než SLM a DMLS, kde minimální velikost prvku, velikost částic prášku, tloušťka vrstvy a povrchová úprava jsou typicky nižší kvality. EBM také vyžaduje, aby byly díly vyráběny ve vakuu, kdy samotný proces může být použit pouze s vodivými materiály.²



Obrázek 2.2.2 C– Grafické zobrazení principu technologie EBM²

- **Multi Jet Fusion (MJF)**

MJF je v podstatě kombinací technologií SLS a tryskání materiálu. Vozík s tryskami pro inkoustové tiskárny (podobné tryškám používaným u stolních 2D tiskáren) prochází tiskovou oblastí a ukládá fixační činidlo na tenkou vrstvu plastového prášku. Současně se v blízkosti hrany dílu tiskne činidlo, které zabraňuje slinování. Vysoce výkonný IR zdroj energie pak přechází přes stavěcí lože a slinuje oblasti, kde bylo nanášeno fixační činidlo, přičemž zbytek prášku zůstal nedotčený. Proces se opakuje, dokud nejsou dokončeny všechny části.²



Obrázek 2.2.2 D– Grafické zobrazení principu technologie MJF²

2.2.3 Material Extrusion

Podobně, jak je zubní pasta vytlačena z trubice, vytlačuje technologie materiál přes tryšku a na desku pro stavbu, kdy tryška navazuje na předem stanovenou cestu budování vrstvy po vrstvě.²

Technologie:

- **Modelování fúzované depozice (FDM)**

FDM (někdy také označovaný jako Fused Filament Fabrication nebo FFF) je nejrozšířenější technologií 3D tisku. FDM staví díly pomocí strun z pevného termoplastického materiálu, který přichází ve formě vlákna. Vlákno se protlačí vyhřívanou tryškou, kde se roztaví. Tiskárna průběžně posouvá tryšku kolem, přičemž rozkládá roztavený materiál na přesných místech po předem stanovené dráze. Když se materiál ochladí, ztuhne a vytváří vrstvu po vrstvě.²



Obrázek 2.2.3 A– Grafické zobrazení principu technologie FDM ²

2.2.4 Material Jetting

Tryskání materiálu je často porovnáváno s procesem 2D tryskání inkoustem. Fotopolymery, kovy nebo vosk, které se vytvrzují, jsou zde vystaveny UV záření nebo zvýšeným teplotám a mohou být použity pro stavbu dílů aplikované po jedné vrstvě. Povaha procesu tryskání materiálu umožňuje tisk více materiálů. Tato schopnost se často používá k tisku podpory z různých (rozpuštěných) materiálů během fáze budování. ²

Technologie:

- **Material Jetting**

Provádění materiálu vydává fotopolymer ze stovek malých trysek v tiskové hlavě, aby vytvořil dílčí vrstvu po vrstvě. To umožňuje, aby operace tryskání materiálu ukládaly stavební materiál rychlým, lineárním způsobem ve srovnání s jinými technologiemi depozice, které následují po dráze, aby dokončily průřezovou plochu vrstvy. Jak jsou kapičky uloženy na konstrukční platformu, jsou vytvrzeny a ztuhnuty UV světlem. Procesy tryskání materiálu vyžadují podporu a bývají často tisknuty současně během stavby z rozpustného materiálu, který je snadno odstranitelný během následného zpracování.



Obrázek 2.2.4 A– Grafické zobrazení principu technologie Material Jetting ²

- **Nano Particle Jetting**

Tryskání Nano částic (NPJ) používá kapalinu, která obsahuje kovové nanočástice nebo nosné nanočástice, naložené do tiskárny jako kazeta a tryskáním zásobníkem lze stavět v extrémně tenkých vrstvách kapiček. Vysoké teploty uvnitř pláště stavby způsobují odpařování kapaliny a zanechávají za sebou kovové části.²



Obrázek 2.2.4 B– Grafické zobrazení principu technologie (NPJ)²

- **Drop-On-Demand (DOD)**

DOD tryskové tiskárny mají 2 tiskové trysky: jeden pro uložení stavebních materiálů (typicky voskovitá kapalina) a druhý pro rozpustný nosný materiál. Podobně jako u tradičních technik AM, i tiskárny DOD následují předem určenou cestu a ukládají materiál bodovým způsobem, aby vytvořily průřezovou plochu součásti. Tyto stroje také využívají mlecí frézu, která po každé vrstvě sklouzává plochu pro vytvoření dokonale rovného povrchu před tiskem další vrstvy. Technologie DOD se obvykle používá pro výrobu „voskovitých“ vzorů pro odlévání a výrobu forem.²



Obrázek 2.2.4 C– Grafické zobrazení principu technologie (DOD)²

2.2.5 Binder Jetting

Tryskání pojivem je způsob dávkování pojiva na práškové lože pro vytvoření jedné vrstvy po jedné. Tyto vrstvy se navzájem spojují za vzniku pevné složky.²

Technologie:

- **Binder Jetting**

Tryskové nanášení pojiva jako lepicího prostředku na tenké vrstvy práškového materiálu. Práškové materiály jsou buď na bázi keramiky (například skla nebo sádry) nebo kovu (například nerezové oceli). Tisková hlava se posouvá po platformě pro ukládání a ukládá kapičky pojiva a tiskne každou vrstvu podobným způsobem, jako 2D tiskárna na papír. Když je vrstva dokončena, práškové lože se pohybuje směrem dolů a nová vrstva prášku se rozprostře na plochu stavby. Proces se opakuje, dokud nejsou dokončeny všechny části. Po tisku jsou díly ve stavu, kdy vyžadují další dodatečné zpracování před tím, než jsou připraveny k použití. Často se přidává infiltrant pro zlepšení mechanických vlastností dílů. Infiltrant je obvykle kyanoakrylátové lepidlo (v případě keramiky) nebo bronz (v případě kovů).²



Obrázek 2.2.5 A– Grafické zobrazení principu technologie (BJ)²

2.2.6 Přímé ukládání energie

Přímé ukládání energie (DED) vytváří části tavením práškového materiálu při jeho ukládání. Používá se převážně s kovovými prášky nebo drátem a často se označuje jako nanášení kovů.²

Technologie:

- **Laserem čistě tvarované sítě (LENS)**

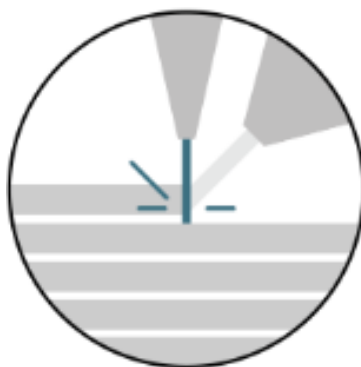
Objektiv využívá nanášecí hlavu, která se skládá z hlavy laseru, trysek pro vypouštění prášku a trubek inertního plynu, aby tak roztavil prášek, který je vypuzován z trysek pro vypouštění prášku, aby se vytvořila vrstva po vrstvě. Laser vytváří na místě stavby taveninu a prášek se nastříká do bazénu, kde se roztaví a pak ztuhne. Substrát je typicky plochá kovová deska nebo existující část, na kterou je materiál přidáván (například pro opravu).²



Obrázek 2.2.6 A– Grafické zobrazení principu technologie (LENS)²

- **Výroba elektronovým paprskem (EBAM)**

EBAM se používá k vytvoření kovových částí pomocí kovového prášku nebo drátu, svařeného dohromady pomocí elektronového paprsku jako zdroje tepla. Elektronické paprsky, které jsou vyráběny podobným způsobem jako LENS, jsou účinnější než lasery a pracují ve vakuu s technologií, která byla původně navržena pro použití v prostoru.²



Obrázek 2.2.6 B– Grafické zobrazení principu technologie (EBAM)²

3. SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE VÝROBY

3.1 Současný materiál komponentů pro výrobu elektromotorů

3.1.1 Hliník a jeho vlastnosti

Tabulka 2 – Hliník a jeho vlastnosti ⁵

Hustota	Teplota tání	Teplota vypařování	Krystalická mřížka	Mřížková konstanta	Atomové číslo	Atomová hmotnost
2700 kg.m ³	660 °C	2520 °C	Kubická plošně centrovaná	A= 4,05.10 ⁻¹⁰	13	26,98

Mezi významné fyzikální vlastnostmi hliníku patří vysoká tepelná a také elektrická vodivost. Tepelná vodivost čistého hliníku při teplotě 20°C dosahuje 235 W.m-1.K-1. Součinitel elektrické vodivosti hliníku s čistotou 99,99 % je při normální teplotě 2,6.10-8 Ω.m, to je asi 60% elektrické vodivosti mědi. Vlivem přísadových prvků se však výrazně snižuje. Součinitel tepelné roztažnosti za normální teploty je přibližně 23.10-6 K-1.

Chemické vlastnosti hliníku tvoří s kyslíkem velmi stabilní oxid Al₂O₃. Tloušťka oxidické vrstvy na povrchu součástí má za normální teploty tloušťku asi do 10 nm. Oxidická vrstva brání hloubkové oxidaci a zajišťuje velmi dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům. Chemická odolnost ve vodných roztocích velmi závisí na pH elektrolytu. V rozmezí pH 4,58,5 je chemická odolnost hliníku výborná, v zásaditém prostředí jen omezená.

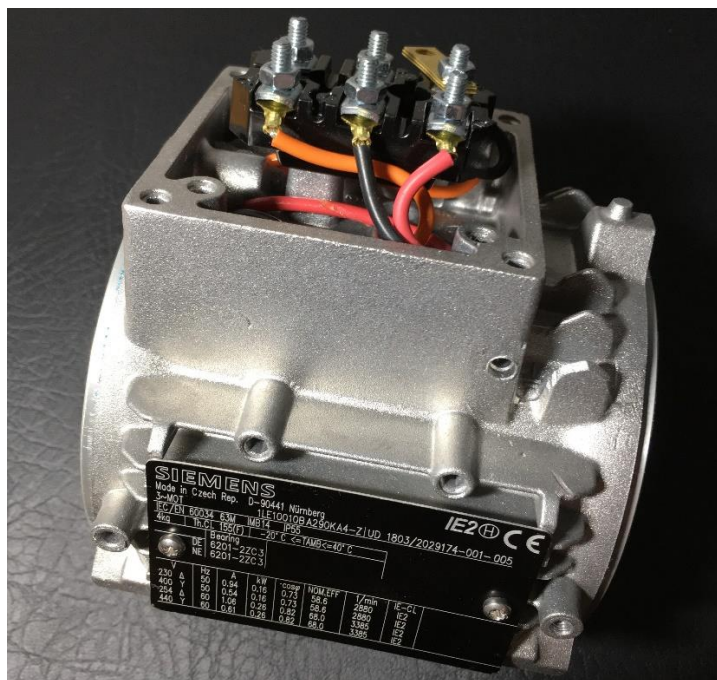
Obsahuje-li slitina hořčík v množství již několika setin procenta, je oxidická vrstva tvořena spinely Al₂O₃.MgO a ochranný účinek vrstvy se snižuje. Hliník a řada jeho slitin se používá v potravinářském průmyslu. Slitiny pro potravinářství však nesmí obsahovat měď.

Mechanické vlastnosti čistého hliníku jsou špatné, pevnost v tahu pod 100 MPa, tvrdost 20-30 HB. Plastické vlastnosti jsou velmi dobré (jako u všech kovů s kubickou plošně centrovanou mřížkou), s tažností nad 20 %. Jako konstrukční materiál je čistý hliník prakticky nepoužitelný. Legováním se mechanické vlastnosti výrazně zvyšují.

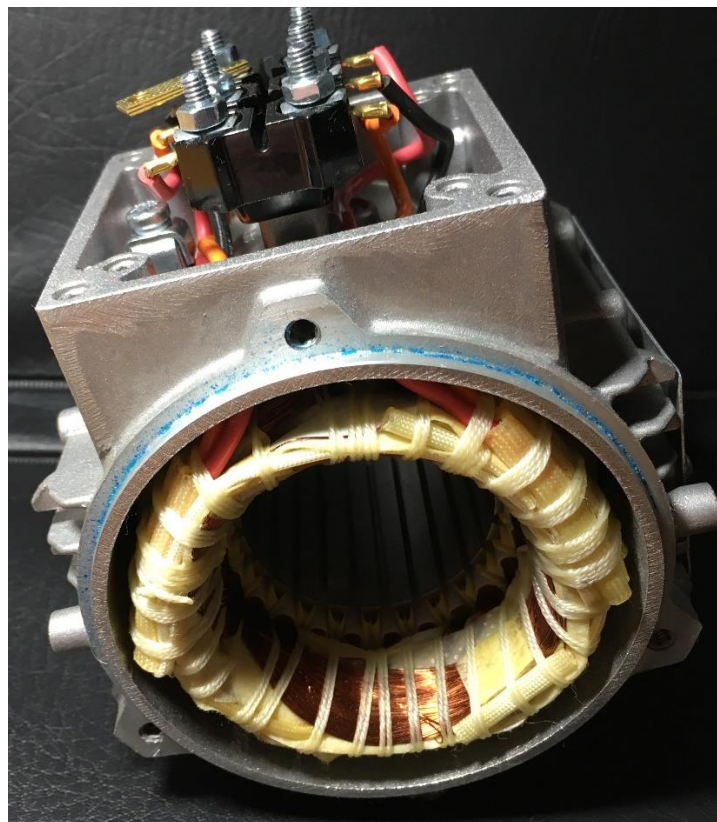
Ze slévarenského hlediska je významná poměrně vysoká měrná tepelná kapacita hliníku přibližně 0,9 kJ.kg.K-1 a vysoké skupenské teplo tání 396 kJ.kg-1. Jejich důsledkem je vysoká energetická náročnost na roztavení hliníkových slitin. ^{5,6}

3.2 Současný stav technologie výroby pro AH 63

3.2.1 Kostra elektromotoru

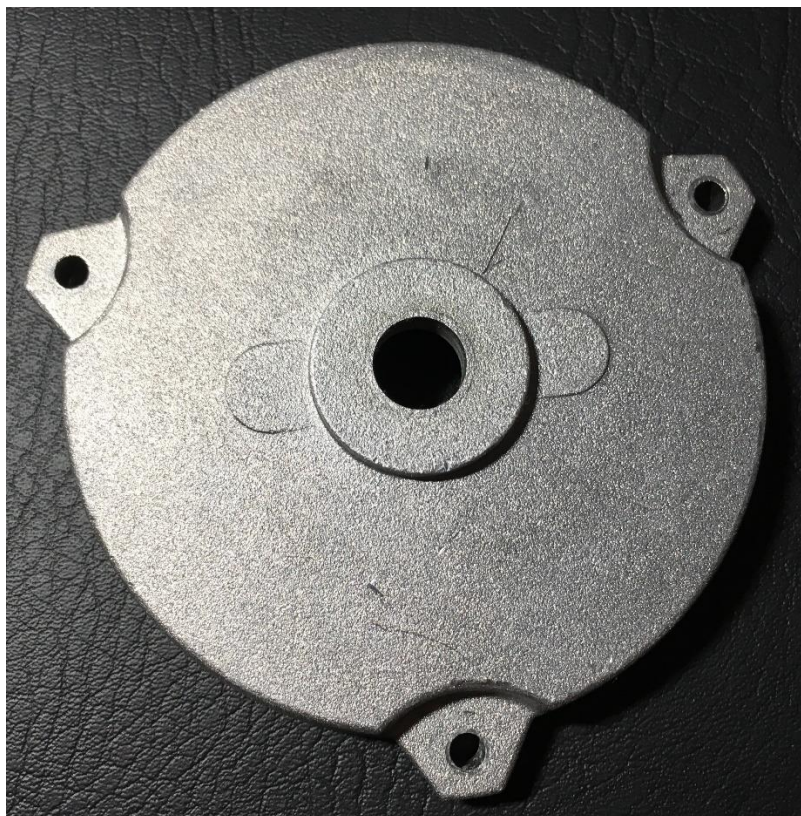


Obrázek 3.2.1 – Kostra elektromotoru pohled A

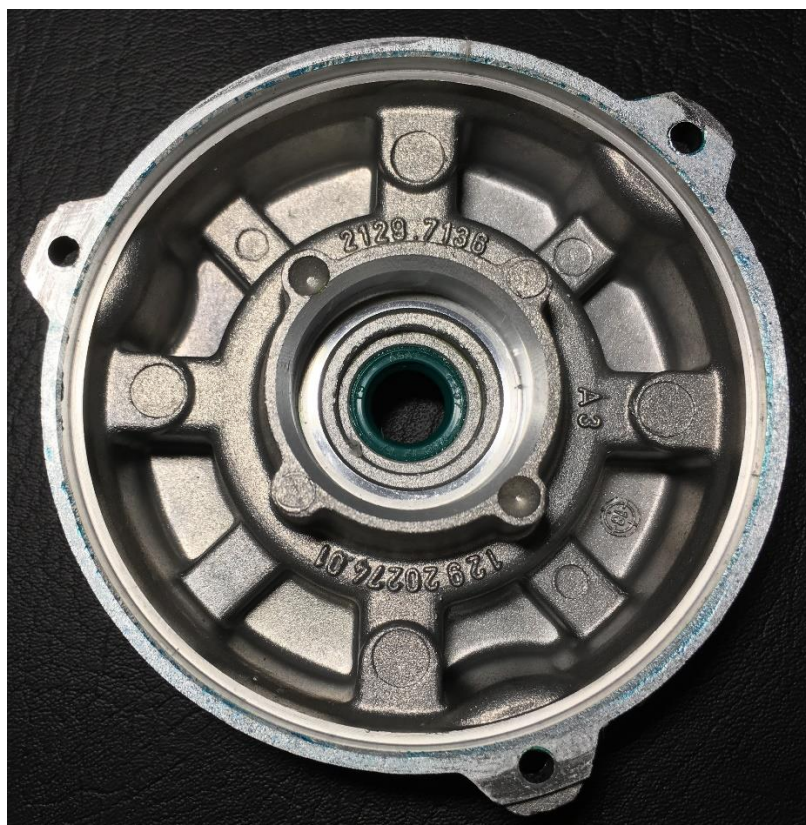


Obrázek 3.2.1 – Kostra elektromotoru pohled B

3.2.2 Štít NDE strana



Obrázek 3.2.2 – Štít NDE strana A



Obrázek 3.2.2 – Štít NDE strana B

3.2.3 Štít DE strana

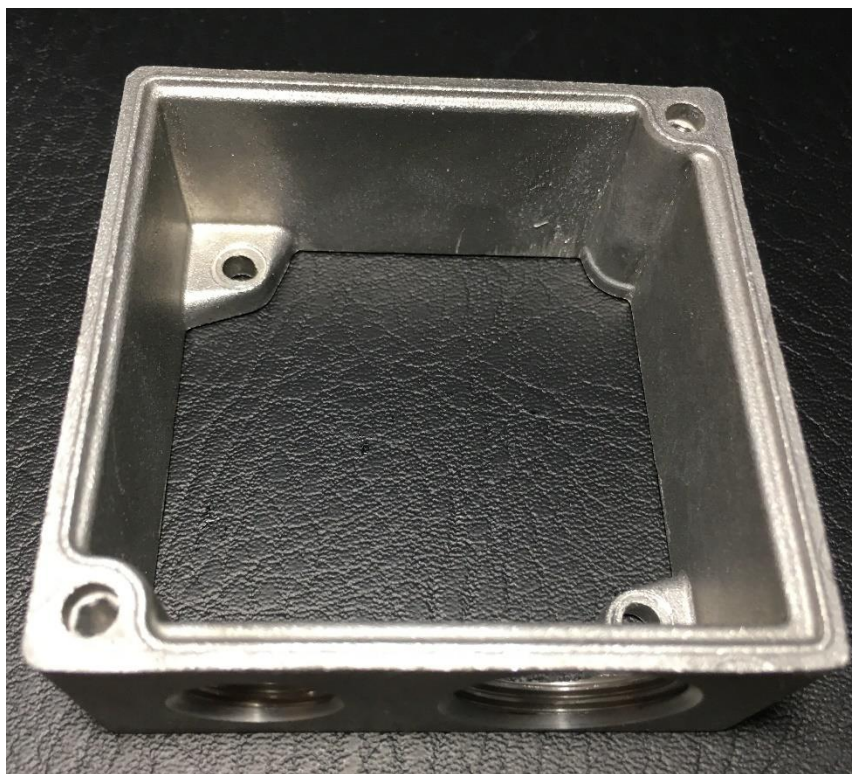


Obrázek 3.2.3 – Štít DE strana A



Obrázek 3.2.3 – Štít NDE strana B

3.2.4 Kryt stříšky



Obrázek 3.2.4 – Kryt stříšky A

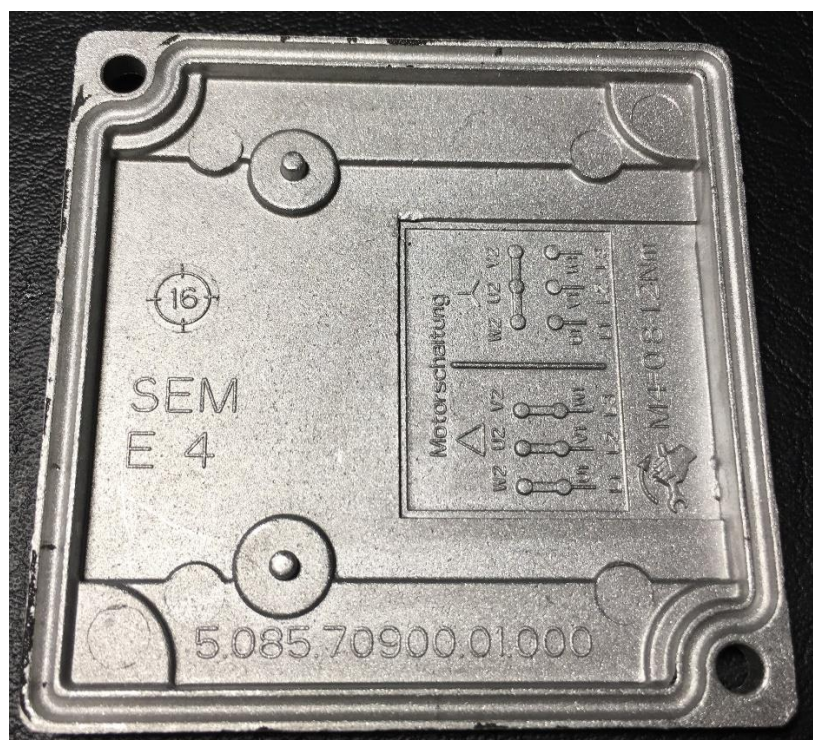


Obrázek 3.2.4 – Kryt stříšky B

3.2.5 Stříška krytu



Obrázek 3.2.5 – Stříška krytu A



Obrázek 3.2.5 – Stříška krytu B

4. NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY

Návrh nového technologického procesu postupu výroby se týkal tvarové optimalizace a následné výroby 4 variant funkčních prototypů svorkovnicové skříně, která je složena z víka a krytu, kdy nově vytvořené návrhy prototypů by měly přinést úsporu přechodem na nový materiál (ABS) za použití násobných vstřikovacích forem a eliminací spojovacího materiálu při tvarově modifikovaných variantách.

Realizace samotného 3D tisku mnou navržených funkčních prototypů svorkovnicové skříně proběhla v centru 3D tisku Protolab na 3D tiskárně EOS P396, kdy po dokončení byly díly pískovány skelnou batolinou a očištěny stlačeným vzduchem.

Další post processing by se mohl realizovat v podobě barvení máčením nebo lakováním (nejdříve do plniče a následně do požadovaného odstínu). Použitým materiálem k realizaci 3D tisku prototypů se stal výchozí materiál od firmy EOS PA 2200 Balance 1.0 PA12.

Doba tisku všech verzí prototypů byla cca 4 hodiny, kdy cenová kalkulace všech dodaných prototypů v závěru činila 12 000 Kč.

Výška vrstvy při 3D tisku činila 120 μm a výkon laseru dosahoval 80 W.

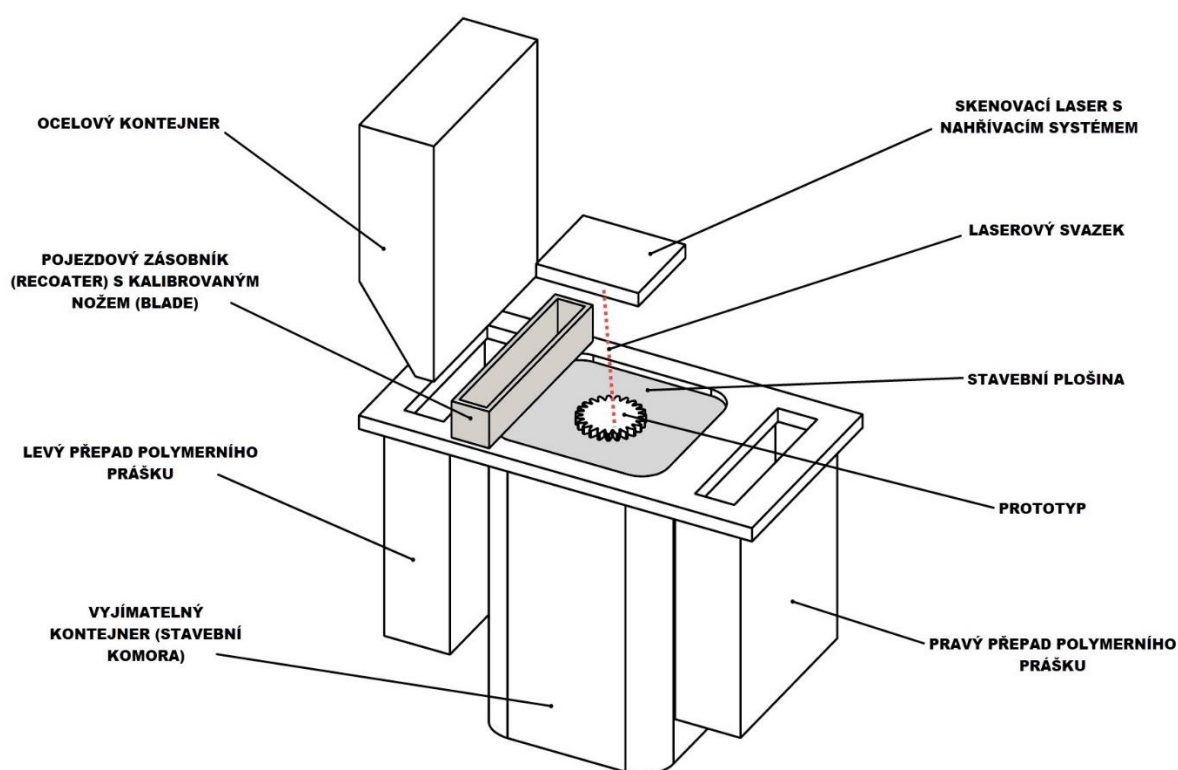
V dalších bodech této kapitoly můžeme nalézt základní charakteristiku technologie 3D tisku vytvořených komponentů použité v experimentální části diplomové práce Powder Bed Fusion – Selective Laser Sintering (SLS), detailní popis použitého materiálu PA 2200 Balance 1.0, popis 3D tiskárny EOS P396, kompletaci jednotlivých verzí prototypů svorkovnicové skříně, včetně popisu dalších operací pro finální zpracování komponentů a samotný popis jednotlivých variant prototypů s jejich grafickým vyobrazením a stanovením přinesených úspor a stupně ochrany krytem podle normy ČSN EN 62 529.

4.1 Technologie 3D tisku experimentu-Powder Bed Fusion – Selective Laser Sintering

Tato technologie, díky které byly vytvořeny jednotlivé varianty prototypů se spoléhá na selektivní tavení práškového materiálu, nejčastěji nylonu (PA 2200 Balance 1.0 PA12 v našem případě) nebo řady kovů v práškovém loži před přerazováním a opakováním.

Technologie Powder Bed Fusion je výjimečná při výrobě převisů a dolů směřujících povrchů, zejména u plastů, kde nejsou potřebné nosné konstrukce.

Vysoké teploty vytvořené zdrojem energie (laserovým nebo elektronovým paprskem) zavádějí do dílu velké množství tepla, které může způsobit deformaci nebo nežádoucí koncentraci napětí. Části budou někdy orientovány neintuitivně, aby se snížila koncentrace tepla. To znamená, že navržený návrh se nemusel nutně tisknout ve směru Z nebo Y směřujícím nahoru. Vyrobené díly mají tendenci být poměrně silné a relativně anizotropní, ale se zrnitým povrchem.⁷



Obrázek 4.1 – Znázornění principu technologie 3D tisku Powder Bed Fusion – SLS

Výhody:

- **odolné díly**
-Slinované termoplastické části mohou odolat mírnému opotřebení s relativní isotropií. Kovové potištěné díly jsou silnější než odlitky
- **Výběr materiálu**
-více než 20 materiálů s řadou vlastností
- **Složité geometrie**
-sytký prášek poskytuje podporu tištěným prvkům uvedeným výše, což umožňuje geometrii, které jsou jinak nemožné
- **Montážní celky**
-při dodržení minimální vůle může SLS vyrábět vícedílné sestavy v jediném cyklu ⁷

Nevýhody:

- **Vysoké, nepodporované struktury**
-operace přesměrování může poškodit vysoké stavby, které nejsou správně podporovány
- **Povrchová úprava**
-úprava brusivem vyžaduje dodatečné zpracování
- **Duté dutiny**
-vnitřní duté dutiny musí být perforovány, aby se odčerpал nepoužitý materiál ⁷

4.2 EOS P 396 – 3D tiskárna určená pro experiment



Obrázek 4.2 – 3D tiskárna EOS P 396 ⁸

Výroba pasivních částí komponentů pro funkční prototyp elektromotoru probíhal ve společnosti Protolab, která se specializuje na aditivní výrobu, reverzní inženýrství a povrchovou úpravu výsledných polymerů.³

Tiskárna EOS P 396, kterou firma Protolab vlastní, využívá technologii tisku SLS – selective laser sintering pro výrobu sériových dílů a funkčních prototypů z polymerních materiálů.

Díky efektivnímu objemu konstrukce 340 x 340 x 600 mm se společností EOS podařilo nastavit standardy ve středním segmentu laserového sinteringu. Tento vysoce produktivní systém poskytuje bezproblémovou výrobu sériových komponentů, náhradních dílů a funkčních prototypů a modelů přímo z CAD dat.⁸

Pomocí nejmodernějších softwarových a hardwarových komponentů je stav výstavby v porovnání s předchůdcem až o 15% vyšší a doba výstavby a cena za díl se výrazně snížila.

Bodový pyrometr přesně a nepřetržitě měří teplotu exponované vrstvy materiálu a umožňuje celkové snížení neproduktivního času až na 60 %.

Při použití vysokorychlostního nástřiku s nízkým opotřebením se materiál aplikuje rychleji se stejnou přesností, čímž se zlepší rychlost výroby, pomocí výkonného 70 W laseru a napomáhá tím zvýšit rychlost sestavení. V současné době je k dispozici 12 komerčních polymerních materiálů a 22 kombinací materiálů / tloušťky vrstev. EOS ParameterEditor navíc umožňuje definovat přizpůsobené parametry expozice na základě ověřených výchozích hodnot.

Řešení pro manipulaci s práškem IPCM P a IPCM P plus integrují systém EOS P 396 do uzavřeného a sledovatelného cyklu a tak zajišťují bezprašné a ergonomické pracovní podmínky.

Tiskárna EOS P 396 představuje nákladově efektivní průmyslovou výrobu součástí, která je:

- vysoce účinná
- reprodukovatelná
- spolehlivá
- vysoce produktivní s nízkými náklady na díl a vlastnostmi homogenních součástí⁸

4.3 Materiál použitý pro experiment na EOS P 396

PA 2200 Balance 1.0 PA12

Tento bělavý jemný prášek PA 2200 na bázi polyamidu 12 slouží s velmi dobře vyváženým profilem vlastností širokého spektra aplikací. Laserem spékané díly vyrobené z PA 2200 mají vynikající materiálové vlastnosti:

- vysokou pevnost a tuhost
- dobrá chemická odolnost
- vynikající dlouhodobé konstantní chování
- vysoká selektivita a rozlišení detailů
- různé možnosti povrchové úpravy (např. metalizace, smaltování sporáků, vibrační broušení, barvení vany, lepení, práškové lakování, vložkování)
- bio kompatibilní podle EN ISO 10993-1 a USP / úroveň VI / 121 ° C
- schválené pro styk s potravinami v souladu se směrnicí EU o plastech 2002/72 / ES (výjimka: potraviny s vysokým obsahem alkoholu)

Typickým použitím materiálu jsou plně funkční plastové díly nejvyšší kvality. Díky vynikajícím mechanickým vlastnostem se materiál často používá k náhradě typických plastů vstřikováním. Biokompatibilita umožňuje jeho použití, např. u protéz umožňuje vysokou odolnost proti otěru např. realizace pohyblivých dílčích přípojek tloušťka vrstvy 120 um. Výhodou sady parametrů Balance je rovnováha. Tloušťka vrstvy 120 um nabízí dokonalou rovnováhu mezi výrobními náklady, mechanickými vlastnostmi, kvalitou povrchu a přesností. Je proto vhodný pro díly s různou geometrií, rozměry a požadavky.⁹

Tabulka 3 – Mechanické vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0⁹

Mechanické vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Izodová vrubová rázová houževnatost (+23 °C)	4.4	KJ/m ²	ISO 180/1A
Tvrdost	75	-	ISO 7619-1

Vlastnosti dílů vyrobených pomocí technologie aditivní výroby (např. Laserové slinování, stereolitografie, jsou v závislosti na výrobě jednotlivých vrstev do určité míry závislé na směru.⁹

Tabulka 4 – 3D data materiálu PA2200 Balance 1.0⁹

3D data	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Modul pružnosti v tahu			ISO 527
Směr X	1650	MPa	
Směr Y	1650	MPa	
Směr Z	1650	MPa	
Mez pevnosti v tahu			ISO 527
Směr X	48	MPa	
Směr Y	48	MPa	
Směr Z	42	MPa	
Napětí při přerušení			ISO 527
Směr X	18	%	
Směr Y	18	%	
Směr Z	4	%	
Rázová houževnatost	53	KJ/m²	ISO 179/1eU
Rázová houževnatost	4.8	KJ/m²	ISO 179/1eA
Modul pevnosti v ohybu	1500	MPa	ISO 178

Tabulka 5 – Teplotní vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹

Teplotní vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Teplota tání (20 °C/min)	176	°C	ISO 11357-1/-3
Teplota měknutí (50 °C/h 50 N)	163	°C	ISO 306
Chování při hoření			UL 94
Test prošel, HB	0.5	mm	
Test prošel, HB	1.6	mm	
Test prošel, HB	3.2	mm	

Tabulka 6 – Ostatní vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹

Ostatní vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Zkušební norma
Hustota	930	Kg/m ³	EOS Method
Prášková barva	Bílá	-	-
Charakteristika			
Zpracování		Chemická odolnost	
Laser sintering, Aditivní technologie		- Obecná chemická odolnost	
Dodávaná forma		Certifikace	
Prášek		- Schválení FDA podle USP Biologický test (klasifikace VI /121 °C)	

4.4 Kompletace prototypů elektromotoru pro AH 63



Obrázek 4.4 A – Těsnění + závitý svorkovnicové skříně

Při návrhu nových funkčních prototypů svorkovnicové skříně, bylo zapotřebí dosáhnoutí potřebného krytí IP (55-68), které bylo možné dodržet vhodným návrhem designu a navržení speciální drážky pro nanesení těsnění.

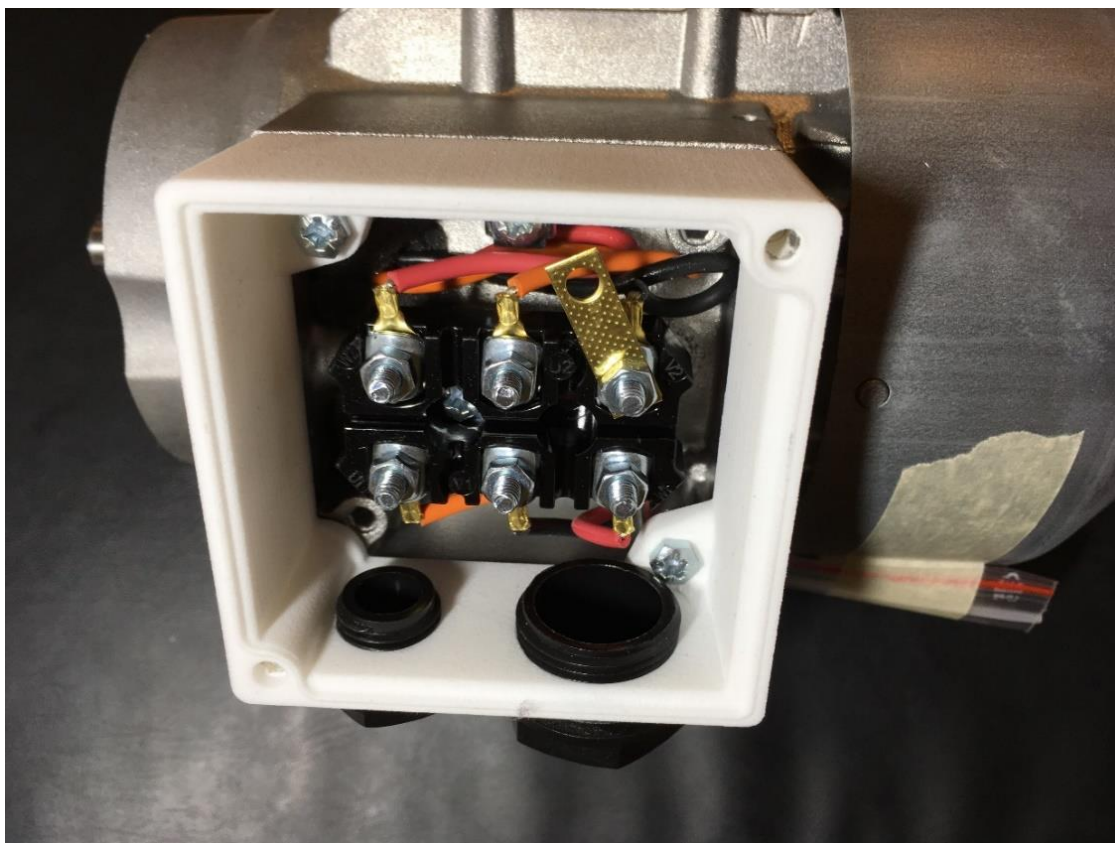
Všechny návrhy prototypů svorkovnicové skříně vedou k ekonomickému zefektivnění technologického a montážního procesu, k snížení nákladů na spotřební materiál a využití levnější alternativy materiálu v podobě plastů (ABS) při použití vstřikovací technologie v několikanásobných automatových formách.



Obrázek 4.4 B– Těsnění víka svorkovnicové skříně



Obrázek 4.4 C – Kompletace sestavy elektromotoru



Obrázek 4.4 D – Grafické znázornění uchycení svorkovnicové skříně ke kostře

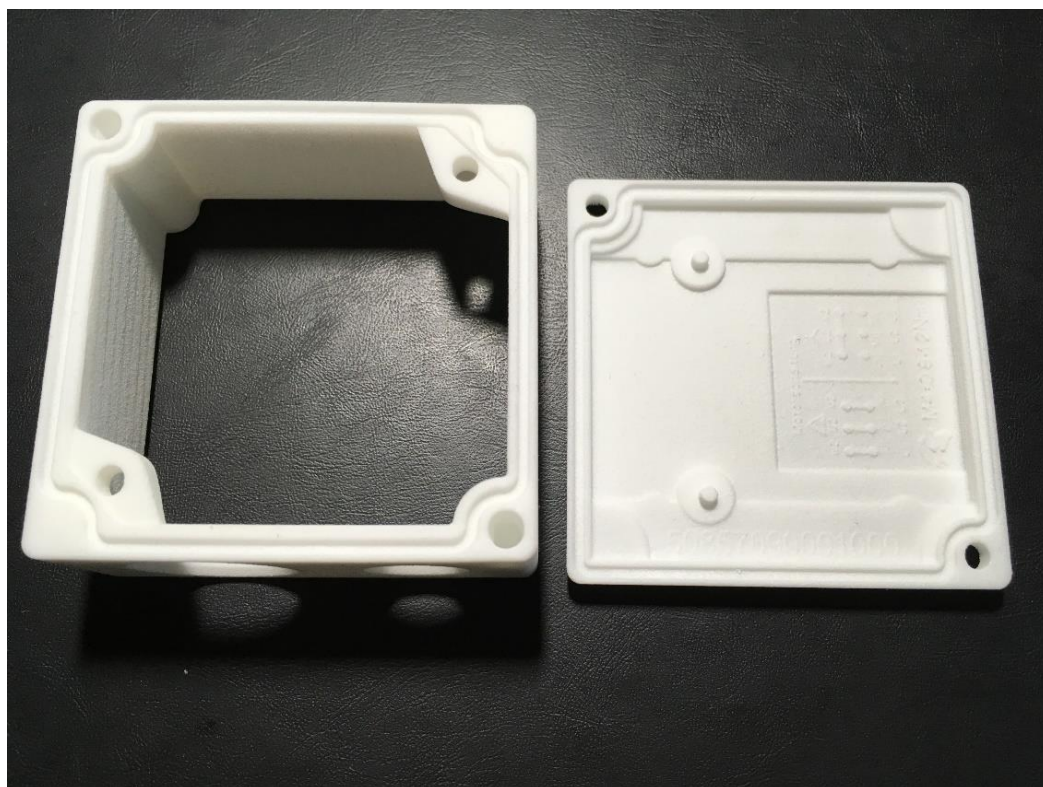
Při kompletaci sestavy elektromotoru, byly dodrženy utahovací momenty pro přichycení krytky svorkovnicové skříně ke kostře motoru šroubky M4, bylo zde zachováno původní rozvržení děr skrz konstrukci kostry elektromotoru AH63-AH90, aby sestava zůstala kompatibilní a plně funkční.

U navržených prototypů krytek svorkovnicové skříně byly zachovány rozměry děr pro původní šrouby M4x12 mm 6HR.HL DIN 933, ale i závitů pro záslepky vývodů kabelů z krytky elektromotoru M25x1,5 a M16x1,5, viz. Obrázek 4.4 D.

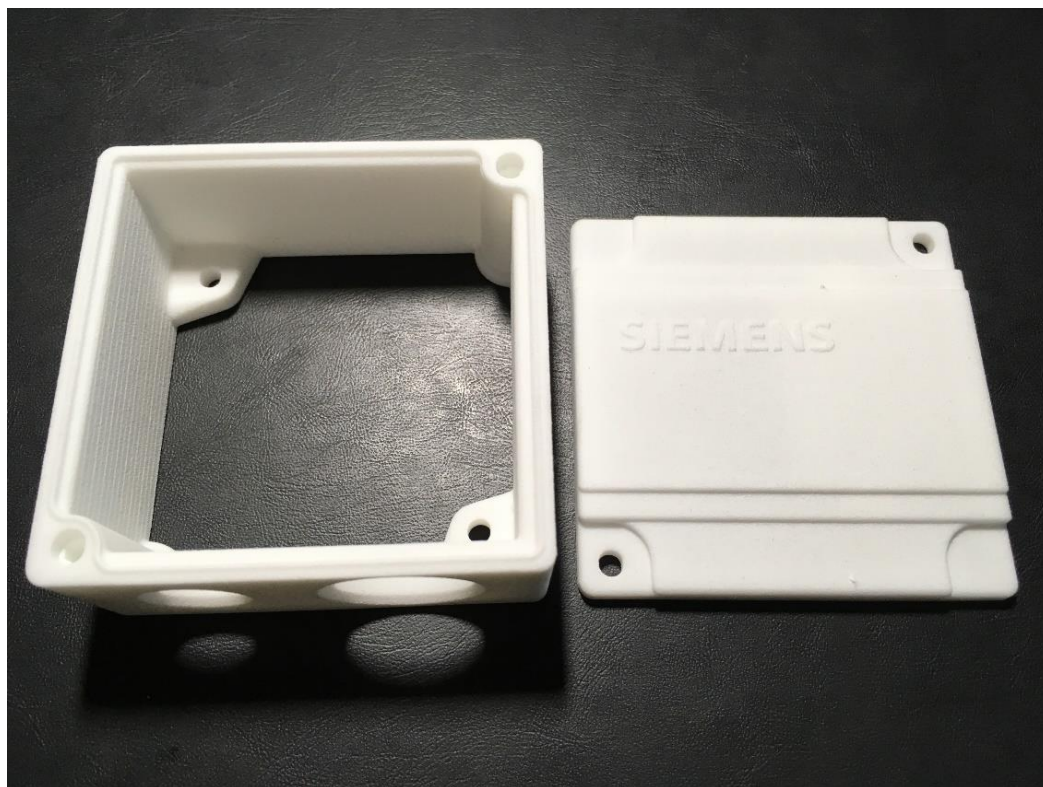
U prototypů 1 a 4 je zachována trajektorie drážky pro izolaci skrz příznivý design nově navržených částí víka a krytu, kde je nebylo nutné nově navrhnout a přemodelovat k požadovanému dosáhnutí těsnění mezi jednotlivými částmi.

U prototypů 2 a 3 je vrchní část krytu a spodní část víka řešena novým návrhem drážky pro izolaci k optimálnímu utěsnění a dosáhnutí krytí IP 68 u návrhů prototypů využívajícího mechanismu zasunovacího pojezdu. Při aplikaci v hromadné výrobě nutno naprogramovat vstřikovací automaty určené k nanášení izolace.

4.4.1 Verze prototypu 1

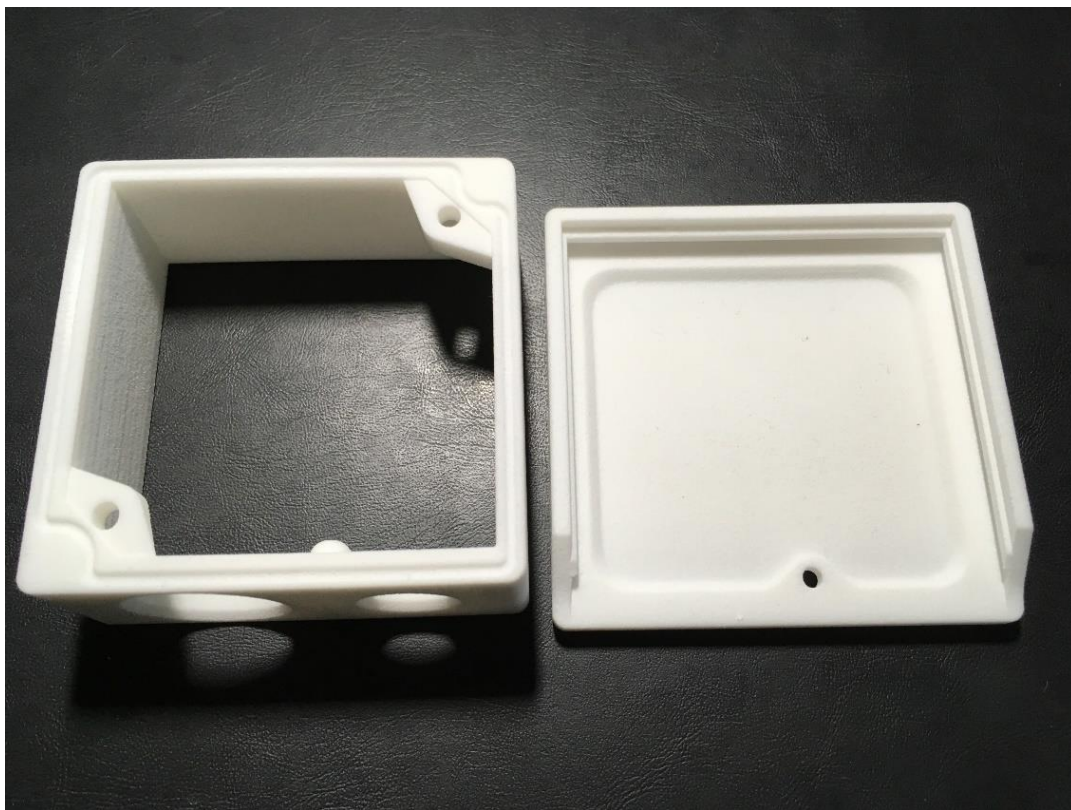


Obrázek 4.4.1 – Prototyp svorkovnicové skříně 1 A

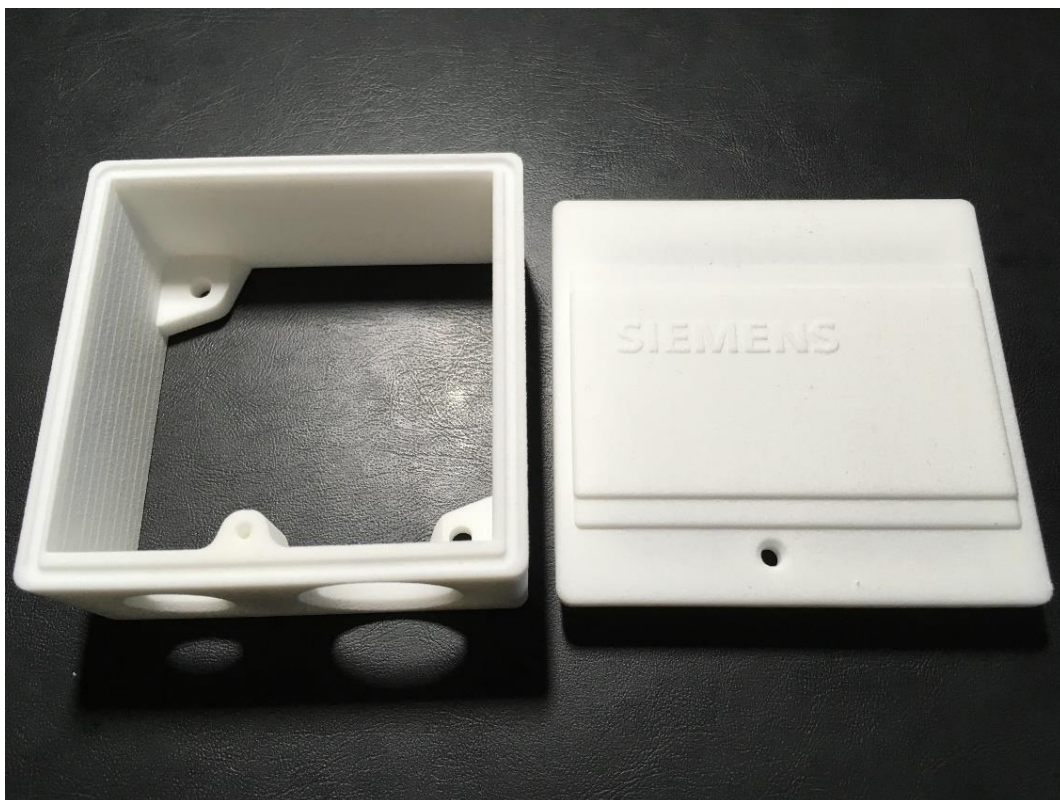


Obrázek 4.4.1 – Prototyp svorkovnicové skříně 1 B

4.4.2 Verze prototypu 2

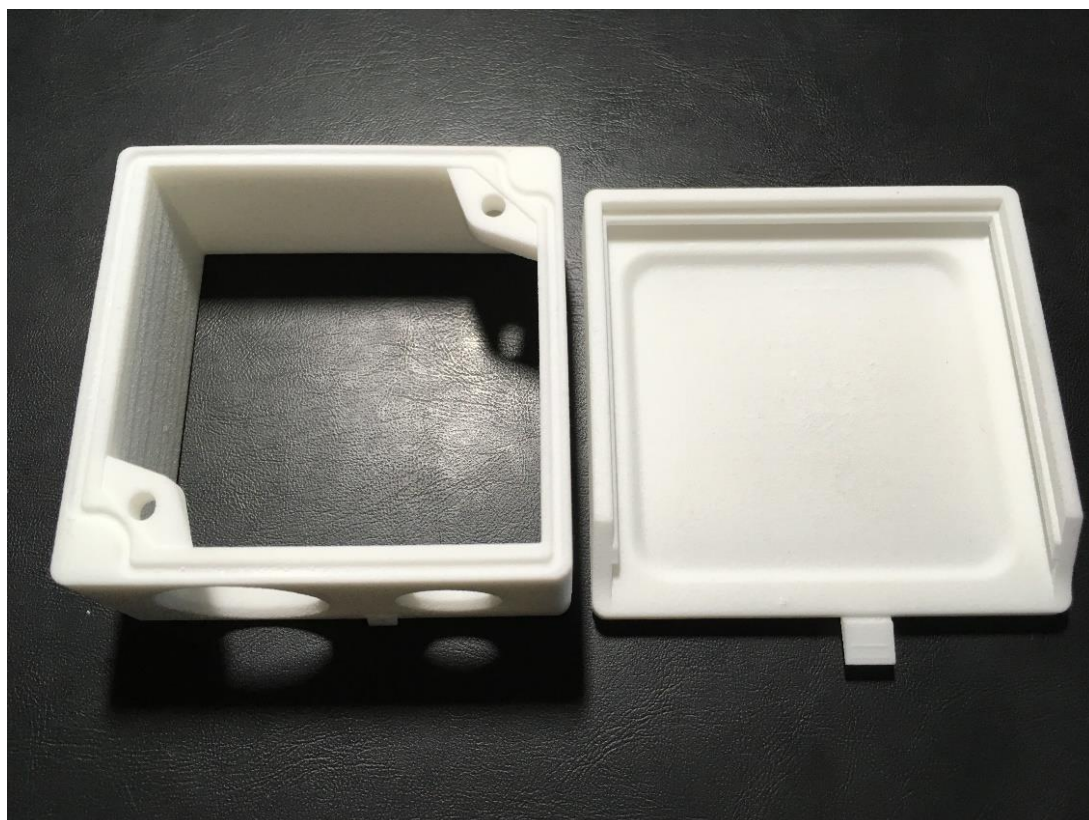


Obrázek 4.4.2 – Prototyp svorkovnicové skříně 2 A

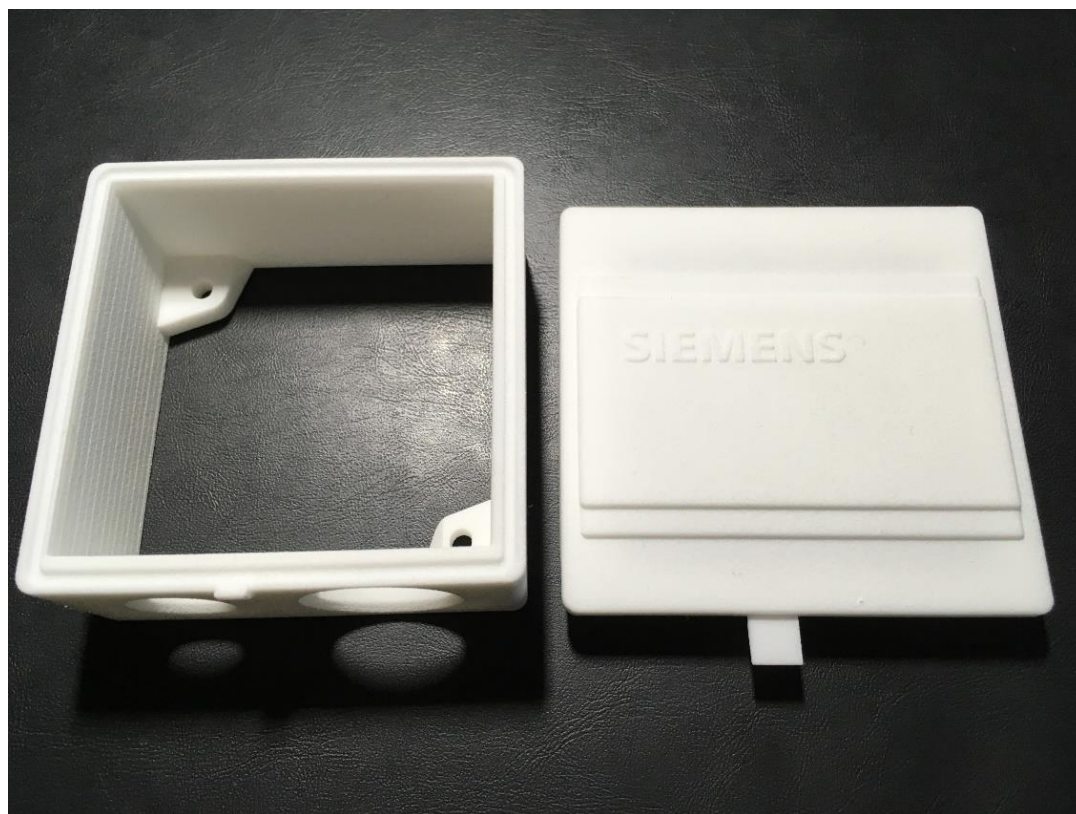


Obrázek 4.4.2 – Prototyp svorkovnicové skříně 2 B

4.4.3 Verze prototypu 3

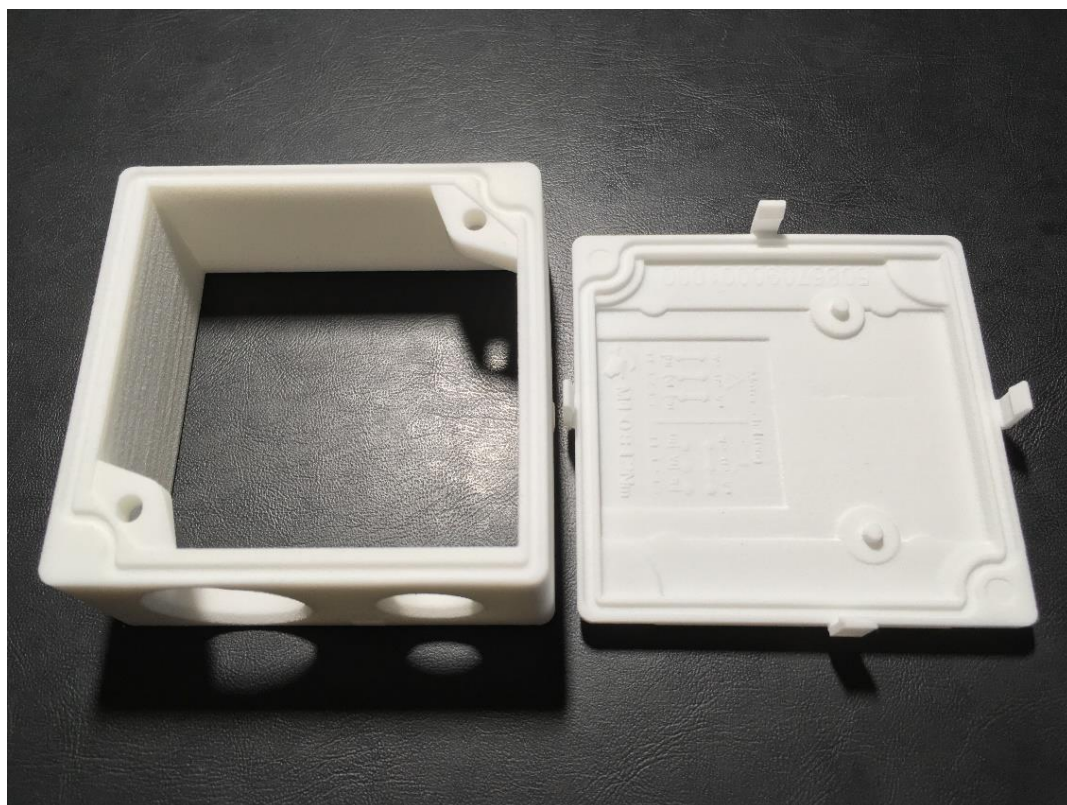


Obrázek 4.3.3 – Prototyp svorkovnicové skříně 3 A



Obrázek 4.4.3 – Prototyp svorkovnicové skříně 3 B

4.4.4 Verze prototypu 4



Obrázek 4.4.4 – Prototyp svorkovnicové skříně 4 A



Obrázek 4.4.4 – Prototyp svorkovnicové skříně 4 B

4.5 Stupně ochrany krytem ČSN EN 62 529 – zkoušky prototypů

Používá se písmen IP a dvojčíslí.

První číslice vyjadřuje stupeň ochrany:

- Před vniknutím pevných cizích předmětů
- Před dotykem nebezpečných částí

Druhá číslice vyjadřuje stupeň ochrany:

- Před vniknutím vody

Přídavná písmena A, B, C, D (nepovinné):

- A - chráněno před dotykem hřbetem ruky – koule o průměru 50 mm
- B - chráněno před dotykem prstem – průměr 12 mm
- C - chráněno před dotykem nástrojem – průměr 2,5 mm
- D - chráněno před dotykem drátem – průměr 1 mm

Doplňující písmena H, M, S, W (za číslem)

- H - zařízení vysokého napětí
- S - zkoušené před vniknutím vody, když je zařízení vypnuté
- M - zkoušené před vniknutím vody, když zařízení pracuje
- W - zařízení má stanovené zvláštní klimatické podmínky s ručením použití ¹⁴

První číslice

- 0 - bez ochrany
- 1 - ochrana před vniknutím těles větších jak 50 mm
- 2 - ochrana před vniknutím těles větších jak 12,5 mm a 12 mm pro ochranu před dotykem nebezpečných částí
- 3 - ochrana před vniknutím těles větších jak 2,5 mm
- 4 - ochrana před vniknutím těles větších jak 1 mm

- 5 - ochrana před prachem (nemůže vniknout tolik prachu, aby narušil práci zařízení)
- 6 - úplná ochrana před prachem ¹⁴

Druhá číslice

- 0 - bez ochrany
- 1 - ochrana před kapkami padajícími svisle
- 2 - ochrana před kapkami padajícími po úhlem 15° max.
- 3 - ochrana před deštěm úhel 60° (chráněno proti klopení vodou-deštěm)
- 4 - ochrana před stříkající vodou (voda stříkající z jakéhokoliv směru)
- 5 - ochrana před tryskající vodou (voda tryskající z trysek z libovolného směru)
- 6 - ochrana před intenzivně tryskající vodou
- 7 - ochrana před dočasným ponořením (při ponoření na určitý tlak a čas nesmí voda vniknout pod kryt)
- 8 - ochrana při trvalém ponoření

Tato norma platí do napětí 72,5 kV.

Příklad: IP 21 B H

- 2 - ochrana před vniknutím těles větších jak 12,5 mm
- 1 - ochrana před skapávající vodou
- B - chráněno před dotykem prstem – průměr 12 mm
- H - odzkoušeno na vysoké napětí

Stupně ochrany proti:

- Před vniknutím pevných cizích předmětů
- Před dotykem nebezpečných částí
- Vniknutí vody udávané druhou charakteristickou číslicí ¹⁴

5 TECHNICKÉ-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Verze prototypu 1



Obrázek 5.1 – Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 1

Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí svorkovnicové skříně prototypu 1 zachovává původně navržený design pro budoucí možnou výrobu vstřikováním plastů na automatových několikanásobných formách, kde s využitím a následnou aplikací konkrétního prototypu svorkovnicové skříně verze 1 vyústí v úsporu při přechodu z hliníkového materiálu na plast (ABS), snížením dílčích kooperací, např. vyvrtání děr pro šrouby k uchycení krytu ke kostře a eliminaci broušení odlitků z hliníku.

Po provedení zkoušek splňuje prototyp svorkovnicové skříně verze 1 krytí IP 68.

5.2 Verze prototypu 2



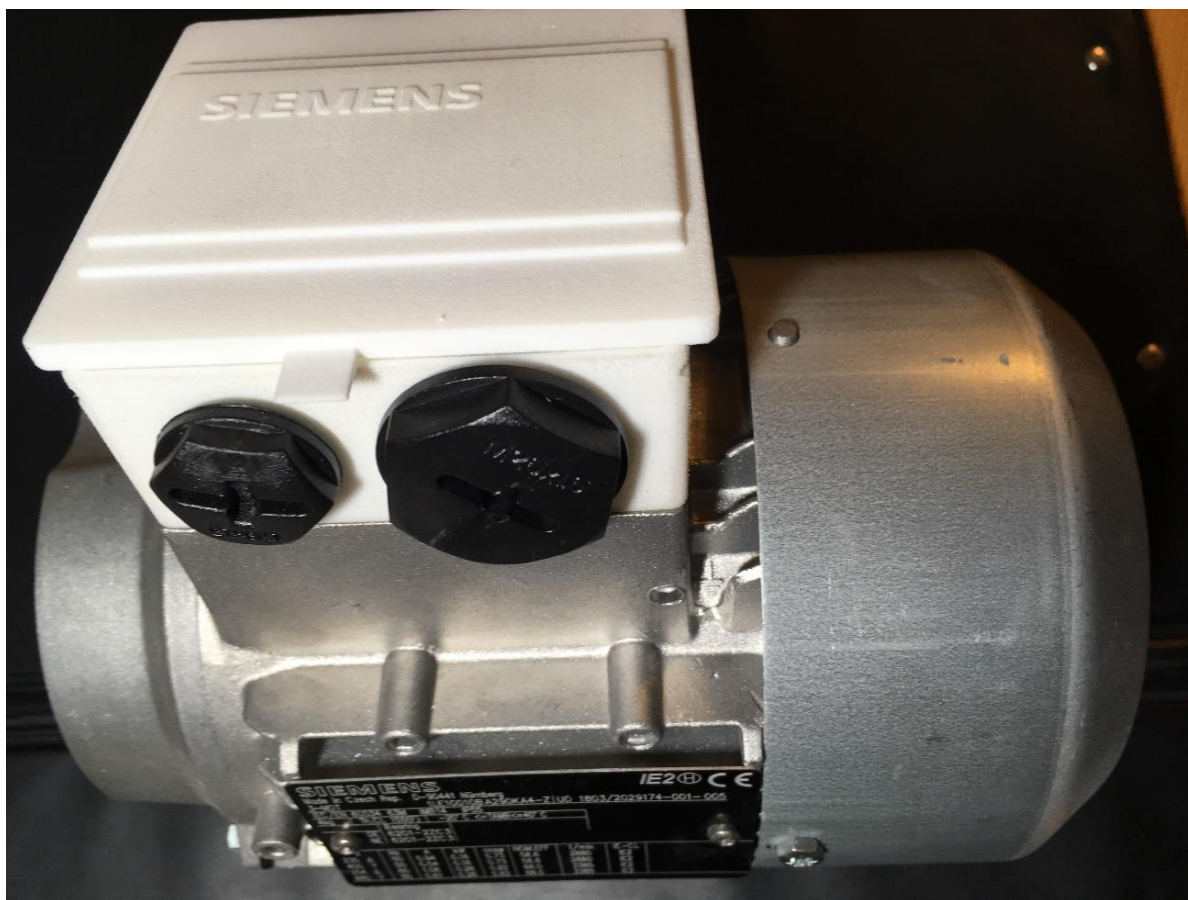
Obrázek 5.2 – Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 2

Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí svorkovnicové skříně prototypu 2 přinesla nový atraktivní design s ochrannými hrany po stranách využívající zasunovacího mechanismu pojezdu k uzavření svorkovnicové skříně a upevnění vrutem do plastu typu Vrut univ. 2,5/10zap DIN7505, zachová tak potřebnou těsnost sestavy a dosáhnutí krytí IP 68.

Přináší úsporu v samotném použití plastového materiálu (ABS) na vstřikovacích automatech oproti hliníkové verzi, včetně absence potřeby vyvrtávat závity pro šrouby, eliminací spojovacího materiálu šroubů ze dvou kusů, použitím levnější alternativy upevnění dílců v podobě jednoho vrutu určeného do plastu, snížením časové náročnosti při kompletaci a zvýšením taktu montážní linky a zefektivněním celkového technologického procesu výroby svorkovnicové skříně elektromotoru.

Uživatelsky příjemné skrze snadné dostání se do prostoru svorkovnicové skříně a manipulaci s ní spjatou.

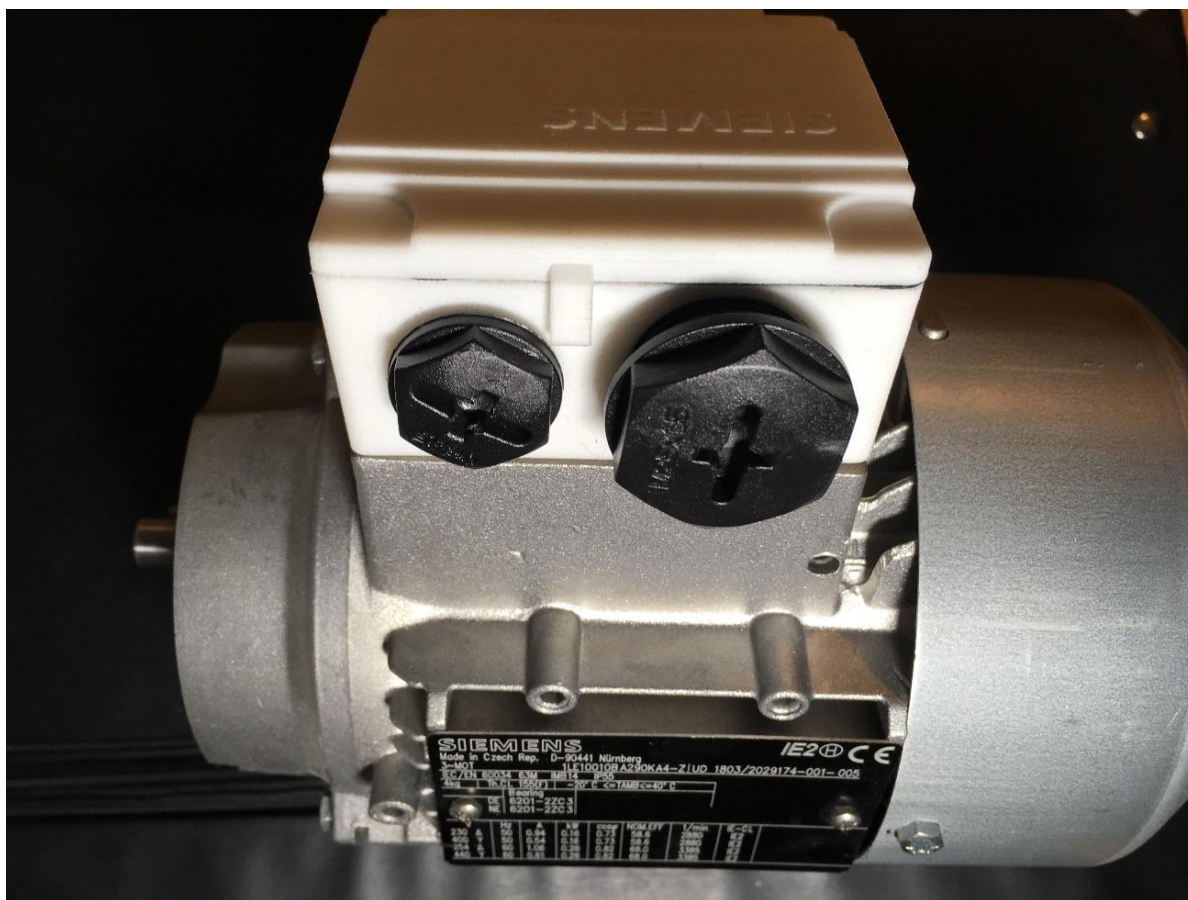
5.3 Verze prototypu 3



Obrázek 5.3 – Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 3

Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí svorkovnicové skříně prototypu 3 představuje podobný design a mechanismus uzavírání využívající zasunovacího mechanismu jako u prototypu 2, ale k upevnění pozice zde slouží „zobáček“ namísto vrutu, který se zakotví o výstupek na krytu svorkovnicové skříně, který je již součástí víčka svorkovnicové skříně, tento prototyp využívá plastických vlastností použitého materiálu, kdy k otevření a dostání se do prostoru svorkovnicové skříně stačí přizvednout „zobáček“ a zatáhnout směrem ven k otevření prostoru. Bylo zde potřeba speciálně navrhnout drážky skrz nanesení izolace do prostorů zasunovacího mechanismu pro dosažení potřebného krytí. Úsporu přinese přechod na plastový materiál (ABS), absence vyvrtávacích operací jako u předchozí hliníkové verze, eliminace spojovacího materiálu 2 ks šroubů M4x12mm 6HR.HL DIN 933 a použití lepidla na jejich závity, zvýšení montážního taktu a zefektivnění celkového procesu výroby pro motory osových výšek od AH 63 až po AH 90. Tento prototyp s označením 3 splňuje normu krytí IP65 za předpokladu správného využití drážek pro izolaci a nanesení tuku na těsnění kvůli snížení tření stykových ploch při zasunování víka do krytky.

5.4 Verze prototypu 4



Obrázek 5.4 – Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 4

Zkompleťovaná sestava elektromotoru s verzí svorkovnicové skříně prototypu 4 využívá zacvakávacího mechanismu víka opatřeného 4 „packami“ a krytky s 4 drážkami pro docvaknutí a upevnění sestavy svorkovnicové skříně dohromady.

Tento typ prototypu, jako u ostatních verzí prototypů přinese úsporu v přechodu na nový plastový materiál (ABS) aplikací automatizovaných vstřikovacích forem, eliminací spojovacího materiálu a uživatelsky jednoduchou manipulací při montáži.

Splňuje krytí IP 63 a pro dosažení lepších krycích vlastností bude zapotřebí navýšit šířku „paciček“ a drážek skrz lepší upevnění a utěsnění celé sestavy.

Jedná se o uživatelsky nejsnadnější ovládání, ale s nižší možnou životností komponentu.

5.5 Stanovení a výpočet úspor

Vysvětlení používaných znaků pro následující výpočty současného stavu výroby svorkovnicové skříně elektromotoru z hliníku pro elektromotory řady 1LE aplikovatelné pro všechny osově výšky AH63, AH71, AH80, AH90 požívající daný typ svorkovnicové skříně:

- A- Cena krytu svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po opracování (Ks)
- B- Cena víka svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po opracování (Ks)
- C- Cena spojovacího materiálu (Šrouby SN60056-AM4*16-ST-MV-F) (Ks)
- D- Roční produkce za období 2017/2018

Tabulka 7 – Výpočet ceny pro původní technologii výroby skříně svorkovnice

Celkově náklady	Výpočet celkových nákladu:
$(A + B + 4 \times C) \times D$	$(15,895 + 11,275 + 4 \times 0,20) \times 140\,320 = \mathbf{3\,924\,750\,Kč}$

5.5.1 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 1

Vysvětlení používaných znaků pro následující výpočet úspor pro variantu prototypů verze 1 svorkovnicové skříně elektromotorů využívající technologie vstřikování plastů (ABS) pro elektromotory 1LE aplikovatelné pro všechny osově výšky AH63, AH71, AH80, AH90 požívající daný typ svorkovnicové skříně:

- A- Cena krytu svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- B- Cena víka svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- C- Cena spojovacího materiálu (Šrouby SN60056-AM4*16-ST-MV-F) (Ks)
- D- Roční produkce za období 2017/2018
- E- Celkové výrobní náklady nové technologie s využitím prototypu 1
- F- Celkové výrobní náklady původní technologie
- G- Vstřikovací vícenásobná forma pro kryt svorkovnicové skříně
- H- Vstřikovací vícenásobná forma pro víko svorkovnicové skříně
- I- Cena vytvoření verze prototypu

Tabulka 8 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 1

Celkově náklady	Výpočet celkových nákladu:
$(A + B + 4 \times C) \times D + G + H + I =$	$(8 + 5 + 4 \times 0,20) \times 140\,320 + 120\,000 + 100\,000 + 3\,000 =$ 2 159 416 Kč

Tabulka 9 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 1

Celkově úspory	Výpočet celkových úspor:
F–E =	$3\,924\,750 - 2\,159\,416 =$ 1 765 334 Kč

5.5.2 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 2

Vysvětlení používaných znaků pro následující výpočet úspor pro variantu prototypů verze 2 svorkovnicové skříně elektromotorů využívající technologie vstřikování plastů (ABS) pro elektromotory 1LE aplikovatelné pro všechny osové výšky AH63, AH71, AH80, AH90 požívající daný typ svorkovnicové skříně:

- A- Cena krytu svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- B- Cena víka svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- C- Cena spojovacího materiálu (Šrouby SN60056-AM4*16-ST-MV-F) (Ks)
- D- Roční produkce za období 2017/2018
- E- Celkové výrobní náklady nové technologie s využitím prototypu 2
- F- Celkové výrobní náklady původní technologie
- G- Vstřikovací vícenásobná forma pro kryt svorkovnicové skříně
- H- Vstřikovací vícenásobná forma pro víko svorkovnicové skříně
- I- Cena vytvoření verze prototypu
- J- Cena spojovacího materiálu (Vrut univ. 2,5/10zap DIN7505) (Ks)

Tabulka 10 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 2

Celkově náklady	Výpočet celkových nákladu:
$(A + B + 2 \times C + 1 \times J) \times D + G + H + I =$	$(8 + 5 + 2 \times 0,20 + 1 \times 0,04) \times 140\,320 + 120\,000 + 100\,000 + 3\,000 =$ 2 108 901 Kč

Tabulka 11 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 2

Celkově úspory	Výpočet celkových úspor:
F-E =	3 924 750 - 2 108 901 = 1 815 849 Kč

5.5.3 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 3

Vysvětlení používaných znaků pro následující výpočet úspor pro variantu prototypů verze 3 svorkovnicové skříně elektromotorů využívající technologie vstřikování plastů (ABS) pro elektromotory 1LE aplikovatelné pro všechny osově výšky AH63, AH71, AH80, AH90 požívající daný typ svorkovnicové skříně:

- A- Cena krytu svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- B- Cena víka svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- C- Cena spojovacího materiálu (Šrouby SN60056-AM4*16-ST-MV-F) (Ks)
- D- Roční produkce za období 2017/2018
- E- Celkové výrobní náklady nové technologie s využitím prototypu 3
- F- Celkové výrobní náklady původní technologie
- G- Vstřikovací vícenásobná forma pro kryt svorkovnicové skříně
- H- Vstřikovací vícenásobná forma pro víko svorkovnicové skříně
- I- Cena vytvoření verze prototypu

Tabulka 12 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 3

Celkově náklady	Výpočet celkových nákladu:
$(A + B + 2 \times C) \times D + G + H + I =$	$(8 + 5 + 2 \times 0,20) \times 140\,320 + 120\,000 + 100\,000 + 3\,000 = \mathbf{2\,103\,288\,Kč}$

Tabulka 13 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 3

Celkově úspory	Výpočet celkových úspor:
F-E =	3 924 750 - 2 103 288 = 1 821 462 Kč

5.5.4 Stanovení a výpočet úspor pro verzi prototypu 4

Vysvětlení používaných znaků pro následující výpočet úspor pro variantu prototypů verze 4 svorkovnicové skříně elektromotorů využívající technologie vstřikování plastů (ABS) pro elektromotory 1LE aplikovatelné pro všechny osové výšky AH63, AH71, AH80, AH90 požívající daný typ svorkovnicové skříně:

- A- Cena krytu svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- B- Cena víka svorkovnicové skříně SV AL 75*75 1LE po vstřikování plastů (Ks)
- C- Cena spojovacího materiálu (Šrouby SN60056-AM4*16-ST-MV-F) (Ks)
- D- Roční produkce za období 2017/2018
- E- Celkové výrobní náklady nové technologie s využitím prototypu 4
- F- Celkové výrobní náklady původní technologie
- G- Vstřikovací vícenásobná forma pro kryt svorkovnicové skříně
- H- Vstřikovací vícenásobná forma pro víko svorkovnicové skříně
- I- Cena vytvoření verze prototypu

Tabulka 14 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 4

Celkově náklady	Výpočet celkových nákladů:
$(A + B + 2 \times C) \times D + G + H + I =$	$(7 + 4 + 2 \times 0,20) \times 140\,320 + 110\,000 + 90\,000 + 3\,000 = \mathbf{1\,802\,648\,Kč}$

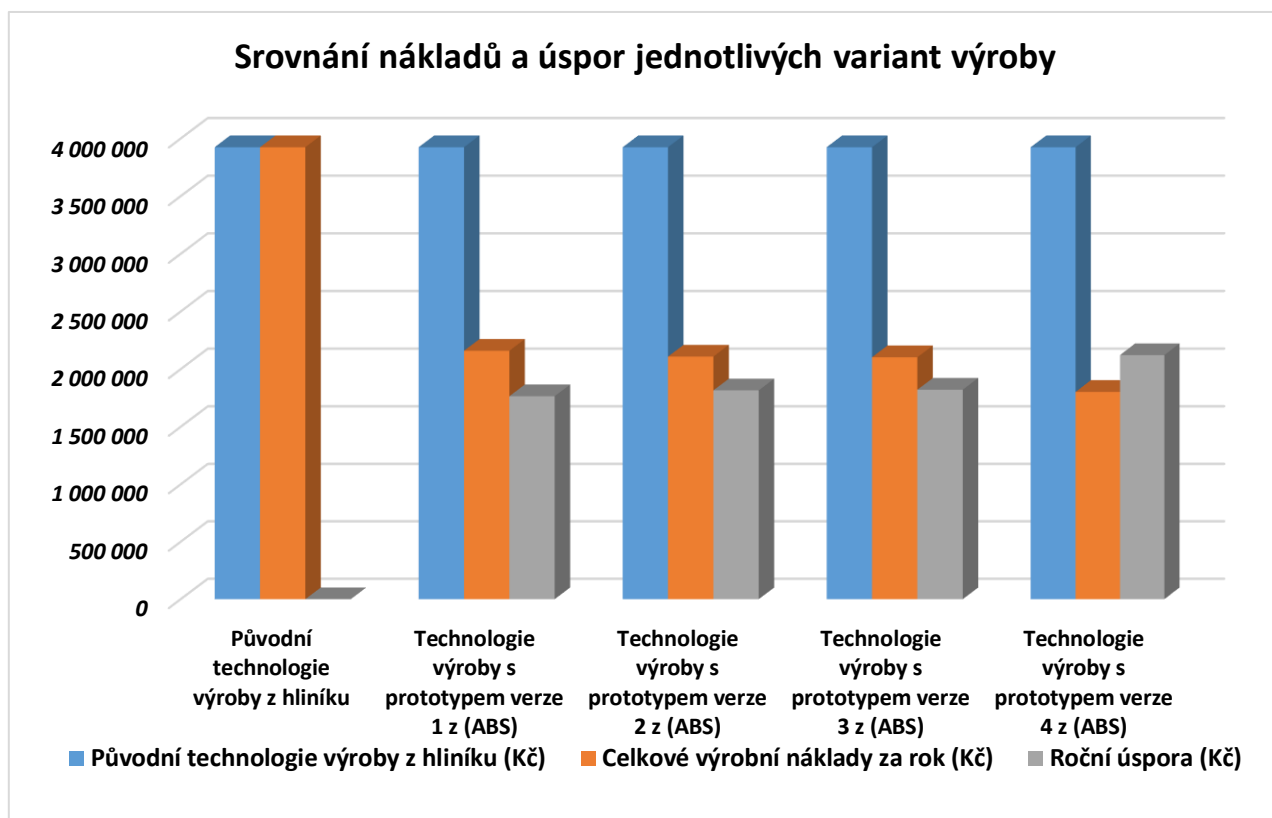
Tabulka 15 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 4

Celkově úspory	Výpočet celkových úspor:
$F - E =$	$3\,924\,750 - 1\,802\,648 = \mathbf{2\,121\,352\,Kč}$

Celkové srovnání původní a nové technologie výroby svorkovnicové skříně pro elektromotory osové výšky AH63, AH71, AH80, AH90 je uvedeno v tabulce srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby a grafu srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby.

Tabulka 16 – Srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby

Technologie výroby	Celkové náklady výroby	Roční úspora
Původní technologie výroby z hliníku	3 924 750 Kč	0 Kč
Výroba s prototypem verze 1 z (ABS)	2 159 416 Kč	1 765 334 Kč
Výroba s prototypem verze 2 z (ABS)	2 108 901 Kč	1 815 849 Kč
Výroba s prototypem verze 3 z (ABS)	2 103 288 Kč	1 821 462 Kč
Výroba s prototypem verze 4 z (ABS)	1 802 648 Kč	2 121 352 Kč



Obrázek 5.5.4 – Graf srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala racionalizací výroby elektromotoru pomocí 3D tisku, s využitím aditivní technologie, kdy byly konkrétně pomocí technologie Powder Bed Fusion-Selective Laser Sintering vytvořeny modely 4 variant tvarově optimalizovaných funkčních prototypů svorkovnicové skříně s cílem zefektivnění technologického a montážního procesu pro elektromotory řady 1LE v osových výškách AH63-AH90, kdy celková průměrná roční produkce 2017/2018 činila 140 320 kusů elektromotorů, včetně svorkovnicové skříně, která byla jejich součástí.

V experimentální části diplomové práce bylo dosaženo reálného technického a ekonomického zefektivnění dané technologie výroby svorkovnicové skříně, snížením nákladů při použití nového materiálu v plastu (ABS), zavedením vstřikovacích násobných forem na plasty, snížením spojovacího materiálu, zvýšením atraktivity designu a dosažením snadnější manipulace pro obsluhu i zákazníky, kdy z nákladů původní hliníkové verze svorkovnicové skříně, které činily 3 924 750 Kč při roční produkci, došlo použitím verze prototypu 1 k úspoře 1 765 334 Kč za rok a splnění normy krytí IP 68 a snížení nákladů výroby o 45 % v porovnání s předchozí technologií výroby, použitím verze prototypu 2 došlo k úspoře 1 815 849 Kč a splnění normy krytí IP 68 a snížení nákladů výroby o 46,3 % v porovnání s předchozí technologií výroby, u verze prototypu 3 bylo dosaženo úspory 1 821 462 Kč a krytí IP 65 a snížení nákladů výroby o 46,4 % v porovnání s předchozí technologií výroby a zavedením poslední verze prototypu 4 bylo dosaženo úspory 2 121 352 Kč s normou krytí IP 63 a snížením nákladů výroby o 54,05 % v porovnání s předchozí technologií výroby.

V závěru práce skrz vypočítanou finanční úsporu a splnění patřičné normy krytí IP byly zhodnoceny verze prototypu 1, 2 a 3 jako zcela vhodné pro budoucí možné zavedení do hromadné výroby, která by vyústila v patřičně vyčíslenou úsporu a dále byla zhodnocena další tvarová optimalizace pro vyšší osově výšky jako reálně možnou, kdy úspora by exponenciálně vzrostla s množstvím použitého materiálu pro vyšší osově výšky.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Webové stránky společnosti Siemens.: Informace o výrobním závodě Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice [Online]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/oz_mohe lnice/pages/elektromotory_mohelnice.aspx
- [2] Webové stránky 3D Hubs.: Additive Manufacturing Technologies:an overview [Online]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>
- [3] Centrum aditivní výroby laboratoře ProtoLab.: 3D tisk kovů z atomizovaných kovových slitin [Online]. Dostupné z: <https://protolab.cz/3d-tisk-kovovych-slitin/>
- [4] Učební materiál: podklady do obrábění Vysokého učení technického v Brně – Fakulty strojního inženýrství.: Aditivní technologie metody Rapid Prototyping [Online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie metody_Rapid_Prototyping.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf) (www.3dsystems.com; www.cubicttechnologies.com; www.stratasys.com; www.mcae.cz; www.bibus.cz; www.aaroflex.com; www.solid-scape.com; www.eos-gmbh.de/default.htm)
- [5] Roučka, J.: Metalurgie neželezných slitin, CERM Brno, 2004, s.149. ISBN 80-214-2790-6
- [6] Roučka, J.: Metalurgie Litin. PC DIR Brno 1998, ISBN 80-214-1263-1
- [7] Webové stránky 3Diligent Corporation.: Technologie 3D tisku Powder Bed Fusion – Selective Laser Sintering [Online]. [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://www.3diligent.com/3d-printing-service/powder-bed-fusion/>
- [8] Interní zdroj firmy EOS GmbH.: Data sheet tiskárny EOS P 396 [Online]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/eos-gmbh-electro-optical-systems/system-data-sheet-eos-p-396/5078-666890.html>

- [9] Interní zdroj firmy EOS GmbH.: Data sheet materiálu PA 2200 Balance 1.0 [Online].
[cit. 2018-11-22].

Dostupné z: https://www.3dhubs.com/image-server/production/bfc48050-f6d3-4a69-9ceb-cd4bdd7ffbff_SLS%20Nylon%20-%20PA2200_0.pdf
- [10] KOZIOR T.; KUNDER C. *Evaluation of the Influence of Parameters of FDM Technology on Selected Mechanical Properties of Models*, In Procedia Engineering, Volume 192, 2017, Pages 463-468.
- [11] GIBSON, Ian a David W.ROSEN. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, c2010, 459 p. ISBN 978-1-4419-1119-3.
- [12] Kozlov, Nikita. *Technologie 3D tisku v procesní technice*. Bakalářská práce. Praha 2017.ČVUT. Vedoucí bakalářské práce: Jiří Moravec.
- [13] Marketing research. *The State of 3D Printing. Sculpteo. Edition 2017*. [Online].
Dostupné z: www.sculpteo.com
- [14] NORMA ČSN EN 62 529 -Stupně ochrany krytem

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 - Pohled na Siemens Mohelnice ¹	12
Obrázek 1.2 - Asynchronní elektromotor Siemens	13
Obrázek 1.3 - Graf zastoupení jednotlivých výrobků na celkové produkci ¹	14
Obrázek 1.4 - Hlavní prvky asynchronního elektromotoru.....	15
Obrázek 2.1– Přejít CAD souboru v hotový 3D výrobek.....	17
Obrázek 2.2 – Vývoj a proces vzniku reálné součásti ⁴	17
Obrázek 2.2.1 A– Grafické zobrazení principu technologie SLA ²	20
Obrázek 2.2.1 B– Grafické zobrazení principu technologie DLP ²	21
Obrázek 2.2.1 C– Grafické zobrazení principu technologie DLP (CDLP) ²	21
Obrázek 2.2.2 A– Grafické zobrazení principu technologie SLS ²	22
Obrázek 2.2.2 B– Grafické zobrazení principu technologie SLM, DLMS ²	23
Obrázek 2.2.2 C– Grafické zobrazení principu technologie EBM ²	23
Obrázek 2.2.2 D– Grafické zobrazení principu technologie MJF ²	24
Obrázek 2.2.3 A– Grafické zobrazení principu technologie FDM ²	25
Obrázek 2.2.4 A– Grafické zobrazení principu technologie Material Jetting ²	25
Obrázek 2.2.4 B– Grafické zobrazení principu technologie (NPJ) ²	26
Obrázek 2.2.4 C– Grafické zobrazení principu technologie (DOD) ²	26
Obrázek 2.2.5 A– Grafické zobrazení principu technologie (BJ) ²	27
Obrázek 2.2.6 A– Grafické zobrazení principu technologie (LENS) ²	28
Obrázek 2.2.6 B– Grafické zobrazení principu technologie (EBAM) ²	28
Obrázek 3.2.1 – Kostra elektromotoru pohled A.....	30
Obrázek 3.2.1 – Kostra elektromotoru pohled B.....	30

Obrázek 3.2.2 – Štít NDE strana A.....	31
Obrázek 3.2.2 – Štít NDE strana B.....	31
Obrázek 3.2.3 – Štít DE strana A.....	32
Obrázek 3.2.3 – Štít NDE strana B.....	32
Obrázek 3.2.4 – Kryt stříšky A.....	33
Obrázek 3.2.4 – Kryt stříšky B.....	33
Obrázek 3.2.5 – Stříška krytu A.....	34
Obrázek 3.2.5 – Stříška krytu B.....	34
Obrázek 4.1 – Znázornění principu technologie 3D tisku Powder Bed Fusion – SLS.....	36
Obrázek 4.2 – 3D tiskárna EOS P 396 ⁸	38
Obrázek 4.4 A – Těsnění + závitů svorkovnicové skříně.....	43
Obrázek 4.4 B – Těsnění víka svorkovnicové skříně	44
Obrázek 4.4 C – Kompletace sestavy elektromotoru	44
Obrázek 4.4 D – Grafické znázornění uchycení svorkovnicové skříně ke kostře.....	45
Obrázek 4.4.1 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 1 A.....	46
Obrázek 4.4.1 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 1 B	46
Obrázek 4.4.2 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 2 A	47
Obrázek 4.4.2 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 2 B.....	47
Obrázek 4.4.3 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 3 A	48
Obrázek 4.4.3 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 3 B	48
Obrázek 4.4.4 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 4 A	49
Obrázek 4.4.4 – Prototyp svorkovnicové skříně verze 4 B	49
Obrázek 5.1 – Zkompletovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 1	52
Obrázek 5.2 – Zkompletovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 2	53

Obrázek 5.3 – Zkompletovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 3	54
Obrázek 5.4 – Zkompletovaná sestava elektromotoru s verzí prototypu 4	55
Obrázek 5.5.4 – Graf srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby.....	60

9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1- Přehled produktů od závodu Elektromotory Mohelnice ¹	13
Tabulka 2 – Hliník a jeho vlastnosti ⁵	29
Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹	40
Tabulka 4 – 3D data materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹	41
Tabulka 5 – Teplotní vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹	42
Tabulka 6 – Ostatní vlastnosti materiálu PA2200 Balance 1.0 ⁹	42
Tabulka 7 – Výpočet ceny pro původní technologii výroby skříně svorkovnice.....	56
Tabulka 8 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 1.....	57
Tabulka 9 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 1.....	57
Tabulka 10 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 2.....	57
Tabulka 11 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 2.....	58
Tabulka 12 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 3.....	58
Tabulka 13 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 3.....	58
Tabulka 14 – Výpočet ceny pro novou technologii výroby s verzí prototypu 4.....	59
Tabulka 15 – Výpočet úspor pro novou technologii výroby s verzí prototypu 4.....	59
Tabulka 16 – Srovnání nákladů a úspor jednotlivých variant výroby.....	60